



TUGAS AKHIR - RE 141581

***HYBRID CONSTRUCTED WETLAND (HCW)***  
**SEBAGAI UPAYA PENGOLAHAN AIR LIMBAH**  
**DOMESTIK PADA PEMUKIMAN PADAT PENDUDUK**  
**DI DAERAH BANTARAN SUNGAI**

**(STUDI KASUS: KEJAWAN GEBANG KELURAHAN**  
**GEBANG PUTIH SURABAYA)**

Arizky Rachmad Sudewo  
3312100041

Dosen Pembimbing:  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - RE 141581

***HYBRID CONSTRUCTED WETLAND (HCW) FOR  
DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT ON  
HIGHLY POPULATED SETTLEMENTS AT  
RIVERBANKS***

**(CASE STUDY: KEJAWAN GEBANG REGION OF  
GEBANG PUTIH SURABAYA)**

Arizky Rachmad Sudewo  
3312100041

Supervisor  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institute of Technology Sepuluh nopember  
Surabaya 2016

## LEMBAR PENGESAHAN

**HYBRID CONSTRUCTED WETLAND (HCW) SEBAGAI UPAYA  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK PADA PEMUKIMAN  
PADAT PENDUDUK DI DAERAH BANTARAN SUNGAI  
(STUDI KASUS: KEJAWAN GEBANG KELURAHAN GEBANG  
PUTIH SURABAYA)**

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ARIZKY RACHMAD SUDEWO**  
NRP 3312 100 041

**Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :**



**Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.**  
**195501281985032001**



***Hybrid Constructed Wetland (HCW) Sebagai Upaya  
Pengolahan Air Limbah Domestik pada Pemukiman Padat  
Penduduk di Daerah Bantaran Sungai  
(Studi Kasus: Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih  
Surabaya)***

Nama Mahasiswa : Arizky Rachmad Sudewo  
NRP : 3312100041  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

**ABSTRAK**

Kawasan Kejawan Gebang, Kelurahan Gebang Putih, Surabaya merupakan salah satu kawasan padat penduduk di daerah bantaran sungai dengan jumlah KK sebanyak 275 KK yang belum memiliki instalasi pengolahan air limbah. Selain itu, masyarakat Kejawan Gebang langsung membuang limbah *grey water* ke badan Kali Bokor tanpa pengolahan, serta *effluent* tangki septik dialirkan secara langsung ke selokan dan saluran di depan rumah. Hal ini akan menyebabkan penurunan kualitas sungai seperti terjadinya alga booming akibat eutrophication, matinya biota-biota perairan, hingga pendangkalan sungai. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan bangunan pengolah air limbah untuk daerah Kejawan Gebang yang bertujuan sebagai inovasi desain teknologi tepat guna pengolah air limbah bagi masyarakat padat penduduk.

*Constructed Wetland (CW)* merupakan salah satu metode yang paling efektif dalam pengolahan limbah domestik. Namun kelemahannya, lahan yang dibutuhkan cukup besar, sehingga pengembangan sistem CW diperlukan. Dalam perencanaan ini, didesain CW berkombinasi atau dinamakan *Hybrid Constructed Wetland (HCW)*, dengan tujuan effluen yang dikeluarkan memenuhi baku mutu dengan luas lahan yang relatif kecil. Metode perencanaan dimulai dari mengidentifikasi masalah, pengumpulan data, perhitungan *detail engineering design (DED)* HCW, dan pemodelan desain menggunakan *software autocad 2007*. Daerah perencanaan Kejawan Gebang dibagi menjadi 3 Zona, yakni Zona 1, Zona 2, dan Zona 3.

Berdasarkan perhitungan didapatkan dimensi dari unit bak pengumpul tipikal untuk semua zona adalah 1,8 m x 1 m. Untuk HCW Zona 1 adalah sebagai berikut; Stage 1: 35 m x 1,5 m, Stage 2: 35 m x 1,5 m, Stage 3: 40 m x 2 m, sehingga total luas lahan yang dibutuhkan sebesar 185 m<sup>2</sup>. Untuk HCW Zona 2 adalah sebagai berikut; Stage 1: 30 m x 3 m, Stage 2: 30 m x 3 m, Stage 3: 35 m x 1,5 m, sehingga total luas lahan yang dibutuhkan sebesar 232,5 m<sup>2</sup>. Untuk Zona 3 adalah: 27 m x 13 m. Sementara untuk dimensi bak indikator dan bak penampung tipikal semua zona adalah 1 m x 0,5 m. Biaya yang dibutuhkan untuk membangun HCW Zona 1 adalah Rp201.850.807,- HCW Zona 2 adalah Rp220.830.131,- SSFCW Zona 3 adalah Rp251.149.742,-

**Kata Kunci:** limbah domestik, *Hybrid Constructed Wetland* (HCW), daerah bantaran sungai, Kejawen Gebang

***Hybrid Constructed Wetland (HCW) For Domestic  
Wastewater Treatment on Highly Populated Settlements at  
Riverbanks***

**(Case Study: Kejawan Gebang Region of Gebang Putih  
Surabaya)**

Name : Arizky Rachmad Sudewo  
NRP : 3312100041  
Department : Environmental Engineering  
Lecturer : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

**ABSTRACT**

Kejawan Gebang, Region of Gebang Putih, Surabaya is one of the highly populated areas at the riverbanks of Surabaya with a headcount of 275 families that do not have waste water treatment plant. In addition, people of Kejawan Gebang dispose grey water directly into the body of Bokor River without any treatment. Septic tank effluent is also discharged directly into sewers and drainage in front of the house. This will cause a decline in the quality of rivers, such as the occurrence of alga booms, the death of aquatic biota, silting up the river. Therefore, it is necessary to plan a communal waste water treatment for the area Kejawan Gebang as an innovative design of waste water treatment technology.

Constructed Wetland (CW) is one of the most effective methods in the processing of domestic waste water. On the other hand, the land required is quite large, so the development of CW system is required. In this of planning, design of CW is combined and called *Hybrid Constructed Wetland* (HCW), with the aim of effluent released meets quality standards with relatively small land area needed. Planning method starts from identifying the problem, data collection, calculation of detailed engineering design (DED) of HCW, and modeling design using AutoCAD software. Kejawan Gebang planning area is divided into three zones, namely Zone 1, Zone 2, and Zone 3.

Based on the calculation, the dimensions of the typical collecting tub unit for all zones is 1.8 m x 1 m. For HCW Zone 1 as follows; Stage 1: 35 m x 1.5 m, Stage 2: 35 m x 1.5 m, Stage 3: 40 m x 2 m, so that the total area of land required is 185 m<sup>2</sup>. For HCW Zone 2 as follows; Stage 1: 30 m x 3 m, Stage 2: 30 m x 3 m, Stage 3: 35 m x 1.5 m, so that the total area of land required for 232.5 m<sup>2</sup>. For Zone 3 as follows: 27 m x 13 m. As for the dimensions of the indicator tub and sump typical all zones are 1 m x 0.5 m. The cost required to build HCW Zone 1 is Rp201.850.807, - HCW Zone 2 is Rp220.830.131, - SSFCW Zone 3 is Rp251.149.742, -

***Keywords: domestic waste water, Hybrid Constructed Wetland (HCW), riverbanks, Kejawan Gebang***

## KATA PENGANTAR

“Bissmilahirrohmanirrohim”

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul **“Hybrid Constructed Wetland (HCW) Sebagai Upaya Pengolahan Air Limbah Domestik pada Pemukiman Padat Penduduk di Daerah Bantaran Sungai (Studi Kasus: Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya)”** ini dapat terselesaikan dengan baik. Tidak dapat dipungkiri terdapat beberapa kendala dalam penyelesaian tugas akhir ini. Namun, semua itu dapat teratasi dengan segenap bantuan, motivasi, dan doa dari segenap pihak.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada;

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, menyempatkan waktu, serta memberi masukan dan motivasi dalam penyusunan laporan ini.
2. Ibu Alia Damayanti ST., MT., Phd, Bapak Dr. Ir. Mohammad Razif MM., Prof. Ir. Wahyono Hadi MSc. PhD, dan Bapak Alfian Purnomo ST., MT selaku dosen penguji yang telah banyak memberi saran dan inspirasi dalam penyusunan laporan ini
3. Bapak dan Ibu yang telah memberikan semangat, doa, *reminder*, serta menjadi motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Masyarakat Kejawan Gebang yang telah cukup kooperatif dalam hal pengumpulan data dan analisis kondisi lingkungan.
5. Teman seperjuangan dalam penyelesaian tugas akhir ini, yakni Faizal Shah Alam, Rinda Meylia Widiyari, Athif Husnabilah, dan Ahmad Safroedin yang telah memberikan semangat baik tersirat maupun tersurat.
6. Anak bimbing praktikum mikrobiologi (Febri, Ila, Firli, Atika, Widi, dan Dewi) yang telah membantu dalam proses survei dan pengumpulan data.



7. Teman-teman angkatan 2012 Teknik Lingkungan FTSP ITS yang selalu menyalurkan energi positif dalam menyelesaikan tugas akhir ini
8. Teman-teman satu kontrakan Wisma Mukti Blok-F 70 yang telah memberikan banyak pembelajaran secara tersurat.
9. Teman-teman alumni Sampoerna Academy yang selalu memberikan semangat
10. Pihak-pihak lain yang terkait yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Serta bisa menambah referensi dan pemahaman terkait pengolahan dan perencanaan *wetland*.

Surabaya, 20 Mei 2016

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>IX</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>XI</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>XIV</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>XV</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Perencanaan .....	3
1.4 Manfaat Perencanaan .....	3
1.5 Ruang Lingkup .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	5
2.1.1 Definisi dan Konsep DAS .....	5
2.2 Air Limbah .....	5
2.2.1 Karakteristik Air Limbah .....	5
2.3 Kualitas Air Limbah Domestik .....	7
2.4 Baku Mutu Air Limbah .....	10
2.5 Debit Air Limbah .....	10
2.6 Sistem Penyaluran Air Limbah Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih .....	11
2.7 Proses Pengolahan Air Limbah .....	13
2.8 <i>Wetland</i> .....	14
2.8.1 Definisi dan Proses Pembentukan Lahan Basah Buatan ( <i>Constructed Wetland</i> ) .....	14
2.8.2 Proses <i>Phytoremediasi</i> dalam <i>Wetland</i> .....	16
2.8.3 Faktor yang Mempengaruhi Sistem Lahan Basah Aliran Bawah Permukaan ( <i>SSF-Wetlands</i> ). .....	19
2.9 Kinerja <i>Constructed Wetland</i> .....	23
2.10 Jenis-jenis Model Pengembangan Sistem <i>Wetland</i> .....	25
2.11 Penelitian Terdahulu .....	28
2.12 <i>Cyperus papyrus</i> .....	31
2.13 Kana .....	32
2.14 Bambu Air .....	32
<b>BAB 3 METODE PERENCANAAN .....</b>	<b>35</b>
3.1 Pengembangan Alternatif Desain .....	35

3.2	Tahapan Perencanaan .....	35
3.3	Rangkaian Kegiatan Perencanaan .....	37
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>43</b>
4.1	Gambaran Umum Perencanaan.....	43
4.2	Pengumpulan Data .....	47
4.2.1	<i>Data Primer.....</i>	<i>47</i>
4.2.2	<i>Data Sekunder.....</i>	<i>49</i>
4.3	Analisis Hasil Survei .....	50
4.4	Instalasi Pengolahan Air Limbah .....	57
4.5	Perhitungan <i>Detail Engineering Desain (DED)</i> .....	59
4.5.1	<i>Bak Pengumpul: .....</i>	<i>59</i>
4.5.2	<i>Perencanaan Pompa.....</i>	<i>63</i>
4.5.3	<i>Pipa Inlet dan Outlet Subsurface Flow Constructed Wetland.....</i>	<i>68</i>
4.5.4	<i>Subsurface Flow Constructed Wetland .....</i>	<i>69</i>
4.5.5	<i>Bak Indikator dan Bak Penampung: .....</i>	<i>92</i>
4.5.6	<i>Perhitungan Removal tiap Parameter .....</i>	<i>95</i>
4.6	Profil hidrolis .....	98
4.7	BOQ dan RAB .....	103
4.7.1	<i>BOQ.....</i>	<i>103</i>
4.7.2	<i>RAB.....</i>	<i>116</i>
<b>BAB 5</b>	<b>OPERASI DAN PEMELIHARAAN.....</b>	<b>131</b>
5.1	<i>Start-up .....</i>	<i>131</i>
5.1.1	<i>Menanam Vegetasi.....</i>	<i>131</i>
5.1.2	<i>Menyesuaikan level air .....</i>	<i>132</i>
5.2	Pengecekan Rutin .....	132
5.2.1	<i>Pengecekan level air .....</i>	<i>132</i>
5.2.2	<i>Pengecekan Aliran dari Air .....</i>	<i>133</i>
5.2.3	<i>Managemen Vegetasi.....</i>	<i>133</i>
5.2.4	<i>Kontrol Bau .....</i>	<i>133</i>
5.2.5	<i>Pengecekan Berm atau dinding .....</i>	<i>134</i>
5.3	Pengecekan Jangka Panjang.....	134
5.4	Biaya <i>Operational</i> dan <i>Maintenance</i> .....	134
5.5	Biaya kebutuhan listrik selama 1 bulan dan 1 tahun .....	134
5.5.1	<i>Pemakaian listrik per hari .....</i>	<i>134</i>
5.5.2	<i>Biaya listrik per bulan.....</i>	<i>134</i>
5.5.3	<i>Biaya listrik per tahun .....</i>	<i>134</i>
5.6	Biaya pembersihan media .....	134
5.6.1	<i>Air yang dibutuhkan: .....</i>	<i>135</i>

5.6.2	<i>Harga kebutuhan air</i> .....	135
5.7	Total Biaya O&M .....	135
<b>BAB 6</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>137</b>
6.1	Kesimpulan .....	137
6.2	Saran: .....	137
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>139</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>143</b>
Lampiran 1.	Gambar Daerah Sasaran .....	143
Lampiran 2.	Data Curah Hujan Surabaya Timur Stasiun Keputih.....	146
Lampiran 3.	Hasi Survei .....	148
Lampiran 4.	Contoh kuesioner .....	154
Lampiran 5.	Luas dan Posisi Area IPAL.....	155
Lampiran 6	Biodata Penulis.....	156

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konsentrasi Limbah Campuran Influen Tangki Septik.....	7
Tabel 2.2 Klasifikasi Tingkat pencemaran Air Limbah Domestik.....	9
Tabel 2.3. Baku mutu Air Limbah Domestik.....	10
Tabel 2.4 Jenis Tanaman Untuk Lahan Basah .....	20
Tabel 2.5 Karakteristik Tipikal Media Untuk SFS .....	22
Tabel 2.6 Efisiensi Penurunan TS, COD, dan LAS Waktu tinggal 1 hari dari reaktor berbentuk bujur sangkar.....	23
Tabel 2.7 Efisiensi Penurunan TS, COD, dan LAS Waktu tinggal 1 hari dari reaktor berbentuk persegi panjang .....	23
Tabel 2.8 Kinerja <i>Horizontal Sub Surface Flow-Constructed Wetland</i> di Crater View <i>Secondary School</i> .....	24
Tabel 3.1 Panduan Desain <i>Constructed Wetland</i> .....	40
Tabel 4.1 Kualitas Air Limbah <i>Grey Water</i> dan <i>Effluent</i> Tangki Septik .....	48
Tabel 4.2 Baku Mutu Kelas IV .....	50
Tabel 4.3 Debit Masing-masing Zona .....	52
Tabel 4.4 Perhitungan % removal Zona 1 .....	96
Tabel 4.5 Perhitungan % removal Zona 2.....	97
Tabel 4.6 Perhitungan % removal Zona 3.....	98
Tabel 4.7 RAB ZONA 1 .....	116
Tabel 4.8 RAB ZONA 2 .....	121
Tabel 4.9 RAB ZONA 3 .....	125

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komposisi Komponen penyusun limbah domestik .....	9
Gambar 2.2 Jaringan Pipa Kawasan 1.....	12
Gambar 2.4 Jaringan Pipa Kawasan 3.....	13
Gambar 2.3 Jaringan Pipa Kawasan 2.....	13
Gambar 2.5 Natural Wetland.....	15
Gambar 2.6 <i>Constructed Wetland</i> .....	15
Gambar 2.7 <i>Seidel System</i> .....	25
Gambar 2.8 <i>Kickut System</i> .....	26
Gambar 2.9 <i>Geller System</i> .....	27
Gambar 2.10 <i>Pietsc System</i> .....	28
Gambar 2.11 <i>Cyperus papyrus</i> .....	31
Gambar 2.12 Kana .....	32
Gambar 2.13 Bambu Air.....	33
Gambar 3.1 Kerangka Alur Perencanaan .....	36
Gambar 4.1 Garis Oranye (Batas Wilayah Kelurahan Gebang Putih) .....	44
Gambar 4.2 Wilayah Kejawan Gebang .....	45
Gambar 4.3 Pembagian Zona Kawasan Perencanaan.....	46
Gambar 4.4 <i>Grey water</i> dibuang ke kali Kejawan Gebang.....	46
Gambar 4.5 <i>Sludge</i> yang terbentuk di kali Kejawan Gebang .....	47
Gambar 4.6 Hasil Survei di 16 KK pada Zona 1 Terkait Sumber Air Bersih .....	53
Gambar 4.7 Hasil Survei di 16 KK pada Zona 1 Terkait Pemakaian Air Secara Umum .....	53
Gambar 4.8 Hasil Survei di 16 KK pada Zona 1 terkait Kepemilikan Tangki Septik .....	54
Gambar 4.9 Hasil Survei di 15 KK pada Zona 2 terkait Sumber Air Bersih .....	54
Gambar 4.10 Hasil Survei di 15 KK pada Zona 2 Terkait Pemakaian Air Secara Umum .....	55
Gambar 4.11 Hasil Survei di 15 KK pada Zona 2 terkait Kepemilikan Tangki Septik .....	55
Gambar 4.12 Hasil Survei di 14 KK pada Zona 3 terkait Sumber Air Bersih .....	56

Gambar 4.13 Hasil Survei di 14 KK pada Zona 3 terkait Pemakaian Air Secara Umum .....	56
Gambar 4.14 Hasil Survei di 14 KK pada Zona 3 terkait Kepemilikan tangki Septik .....	57
Gambar 4.15 Skema Pengolahan Air Limbah Zona 3 .....	58
Gambar 4.16 Skema pengolahan Air Limbah Zona 1 dan 2 .....	59
Gambar 4.17 Tipikal ukuran galian .....	103
Gambar 4.18 Tipikal ukuran galian .....	108
Gambar 4.19 Tipikal ukuran galian .....	113
Gambar 5.1 Teknik Penanaman rimpang atau <i>rhizome</i> ...	132

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan pemukiman kumuh di bantaran sungai kian meningkat. Data yang diperoleh dari BPS menyebutkan bahwa pertumbuhan kawasan kumuh di daerah bantaran sungai di seluruh Indonesia mencapai 1,37% dalam setahun (Rumah Rakyat, 2012). Pemukiman di bantaran sungai dikategorikan kawasan kumuh dikarenakan fasilitas drainase yang sangat tidak memadai dan fasilitas pembuangan air kotor berupa tinja atau limbah domestik yang sangat minim. Air limbah dari kegiatan domestik yang terdiri atas *grey* dan *black water* banyak dialirkan atau dibuang ke selokan atau sungai depan atau sekitar rumah. *Grey water* yang berasal dari air bekas cuci baju, mandi, masak dan cuci peralatan dapur banyak mengandung antara lain nitrat, fosfat, dan zat organik atau parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biological Oxygen Demand*) di dalamnya. Selain itu, pengolahan *black water* yang berasal dari efluen tangki septik (sistem *on site*) di kota besar belum dilengkapi dengan resapan yang memenuhi persyaratan teknis. Misalnya, banyak di daerah yang padat penduduknya atau permukiman perkotaan, air keluaran atau efluen dari tangki septik disalurkan melalui perpipaan dibuang langsung ke selokan atau saluran dekat/depan rumah. Apabila keduanya dialirkan ke selokan, akan menyebabkan berkurangnya volume selokan atau sungai yang seharusnya terisi air limpasan hujan. Akibatnya saat hujan, air dalam selokan atau sungai meluap ke area sekitarnya atau banjir akan terjadi.

Kawasan Kejawan Gebang, Kelurahan Gebang Putih, Surabaya merupakan salah satu kawasan padat penduduk di daerah bantaran sungai dengan jumlah KK sebanyak 275 KK yang belum memiliki instalasi pengolahan air limbah. Sementara menurut Dinas PU tahun 2010 bahwa perencanaan IPAL Komunal wajib direncanakan untuk daerah dengan kepadatan 100 orang/ha. Selain itu, masyarakat Kejawan Gebang langsung membuang limbah *grey water* ke badan Kali Bokor tanpa pengolahan, serta *effluent* tangki septik dialirkan secara langsung ke selokan dan saluran di depan rumah.



Lebih jauh lagi, hasil penelitian yang dilakukan oleh Dinas PU DKI dan Tim JICA (2010) menunjukkan bahwa jumlah air buangan secara keseluruhan diperkirakan sekitar 1,3 juta m<sup>3</sup>/hari, dimana 80 % lebih dari jumlah limbah berasal dari air limbah domestik serta air buangan perkantoran dan daerah komersial. Sedangkan sisanya merupakan air limbah yang berasal dari buangan industri. Pencemaran badan sungai oleh limbah domestik dari *grey water* dan *effluent* tangki septik ini, akan menyebabkan penurunan kualitas sungai seperti terjadinya *alga booming* akibat *eutrophication*, matinya biota-biota perairan, hingga pendangkalan sungai.

Lahan basah terkonstruksi atau *Constructed Wetland* merupakan salah satu metode yang paling efektif dalam pengolahan limbah domestik. Lahan basah terkonstruksi merupakan miniatur dari *wetland* alamiah yang dihadirkan dalam bentuk kompartemen-kompartemen ataupun kolam buatan dengan pemilihan tanaman tertentu yang disesuaikan dengan jenis polutan limbah. Konsep *Constructed Wetland* ini merupakan pengolahan limbah yang paling murah dan aman. Namun, kelemahan metode ini adalah membutuhkan lahan yang luas serta berpotensi menimbulkan bau dan menjadi sarang hewan-hewan liar. Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi yang mampu mengolah limbah domestik dengan memanfaatkan tatanan pemukiman bantaran sungai yang padat dan terbatas.

Pada tugas akhir ini akan direncanakan bagaimana mendesain *Hybrid Constructed Wetland* dari air limbah domestik yaitu: *grey water* dan *effluent septic tank* di daerah Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya. Konsep Hybrid adalah konsep kombinasi atau merupakan pengembangan dari *wetland* yang telah ada, dengan tujuan *wetland* yang membutuhkan lahan yang cukup besar dapat dikreasikan sehingga dapat diterapkan di lahan yang terbatas. Perencanaan dilakukan melalui perhitungan DED sampai pada gambar unit tersebut, juga akan dihitung berapa *Bill of Quantity* (BOQ) dan berapa Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan untuk merealisasikan masing-masing unit dalam *Hybrid Constructed Wetland* tersebut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana desain *Hybrid Constructed Wetland* sebagai unit terintegrasi untuk pengolahan air limbah domestik bagi kawasan padat penduduk di Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya?
2. Berapa Rencana Anggaran Biaya yang dibutuhkan dalam membangun *Hybrid Constructed Wetland* untuk kawasan padat penduduk di Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya?

## **1.3 Tujuan Perencanaan**

Tujuan dari perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan desain *Hybrid Constructed Wetland* sebagai unit terintegrasi untuk pengolahan air limbah domestik bagi kawasan padat penduduk di Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya?
2. Menentukan Rencana Anggaran Biaya yang dibutuhkan dalam membangun *Hybrid Constructed Wetland* untuk kawasan padat penduduk di Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya?

## **1.4 Manfaat Perencanaan**

Manfaat dari perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Bidang IPTEK: Pengembangan sistem pengelolaan limbah domestik bagi daerah kumuh padat penduduk
2. Masyarakat:
  1. Memberikan wawasan terkait tata kelola lahan sempit untuk upaya penghijauan, pengolahan limbah domestik, serta upaya perbaikan dan kesehatan lingkungan
  2. Menyelesaikan permasalahan pengolahan air limbah di pemukiman padat penduduk di daerah bantaran sungai
  3. Meningkatkan sanitasi lingkungan di pemukiman padat penduduk di daerah bantaran sungai

4. Pemerintah: Mendukung program pemerintah dalam upaya peremajaan kawasan bantaran sungai, tata kelola pemukiman kumuh bantaran sungai, dan remediasi badan sungai

## 1.5 Ruang Lingkup

Ruang Lingkup dari perencanaan ini adalah:

1. Perencanaan *Hybrid Constructed Wetland* terletak di Pemukiman Padat Penduduk daerah Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya
2. Debit air limbah didapatkan dengan asumsi 80% debit pemakaian air bersih
3. Karakteristik air limbah didapatkan melalui pengambilan sampel air limbah di daerah Kejawan Gebang, Kelurahan Gebang Putih, Surabaya.
4. Parameter yang digunakan adalah BOD, COD, TSS, N, P, dan pH
5. Jenis *wetland* yang digunakan adalah *sub-surface flow wetland*
6. Perencanaan *Detail Engineering Design* (DED), meliputi :Bak pengumpul, *on site constructed wetland*, bak indikator, dan bak penampung
7. Apek yang dibahas adalah aspek teknis dan aspek finansial
8. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) disesuaikan dengan SNI-DT-2007 series tentang pekerjaan bangunan dan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya Tahun 2015 Perubahan I
9. Baku mutu *effluent* mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi kegiatan Industri dan Usaha Lainnya

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)**

##### **2.1.1 Definisi dan Konsep DAS**

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi punggung-punggungan gunung dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung oleh punggung gunung tersebut dan akan dialirkan melalui sungai-sungai kecil ke sungai utama (Asdak, 1995). Karena DAS dianggap sebagai suatu sistem, maka dalam pengembangannya, DAS harus diperlakukan sebagai suatu sistem. Dengan memperlakukan sebagai suatu sistem dan pengembangannya bertujuan untuk memenuhi tujuan pembangunan berkelanjutan, maka sasaran pengembangan DAS akan menciptakan ciri-ciri yang baik sebagai berikut :

1. Mampu memberikan produktivitas lahan yang tinggi.
2. Mampu mewujudkan, pemerataan produktivitas di seluruh DAS.
3. Dapat menjamin kelestarian sumberdaya air. (Agus, dkk., 2007).

Salah satu fungsi utama dari DAS adalah sebagai pemasok air dengan kuantitas dan kualitas yang baik terutama bagi orang di daerah hilir. Alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian akan mempengaruhi kuantitas dan kualitas tata air pada DAS yang akan lebih dirasakan oleh masyarakat di daerah hilir. Persepsi umum yang berkembang pada saat ini, konversi hutan menjadi lahan pertanian mengakibatkan penurunan fungsi hutan dalam mengatur tata air, mencegah banjir, longsor dan erosi pada DAS tersebut. Hutan selalu dikaitkan dengan fungsi positif terhadap tata air dalam ekosistem DAS (Noordwijk dan Farida, 2004). Daerah resapan air berperan sebagai penyaring air tanah. Ketika air masuk ke daerah resapan maka akan terjadi proses penyaringan air dari partikel-partikel yang terlarut di dalamnya. Hal ini dimungkinkan karena perjalanan air dalam tanah sangat lambat dan oleh karenanya memerlukan waktu yang relatif lama. Pada keadaan normal, aliran air tanah langsung masuk ke sungai yang terdekat (Asdak, 1995).

#### **2.2 Air Limbah**

##### **2.2.1 Karakteristik Air Limbah**

Secara fisik, parameter yang termasuk ke dalam air limbah adalah sebagai berikut :

### **1. Total Solid**

Merupakan zat-zat yang tertinggal sebagai residu dari penguapan pada temperatur  $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ .

### **2. Temperatur**

Pada umumnya temperatur air limbah lebih tinggi dari pada temperatur air minum (bersih). Dengan adanya penambahan air limbah yang temperaturnya lebih tinggi (lebih panas), mengakibatkan air yang tercemar suhunya akan sedikit lebih tinggi. Adanya kenaikan temperatur ini mempengaruhi:

- Kehidupan organisme di dalam air
- Kelarutan gas di dalam air
- Aktivitas bakteri di dalam air

### **3. Warna**

Air limbah yang masih segar umumnya berwarna abu-abu. Dengan terjadinya penguraian senyawa organik oleh bakteri, warna akan menjadi semakin hitam. Bila warnanya telah hitam dan berbau tidak sedap, berarti kondisi air tersebut telah septik atau busuk.

### **4. Bau**

Umumnya disebabkan oleh gas hasil dekomposisi zat organik. Gas  $\text{H}_2\text{S}$  ini berasal dari reduksi sulfur oleh mikroorganisme secara anaerob. Ditinjau dari karakteristik kimianya, senyawa kimia yang terkandung di dalam air limbah terdiri dari 3 golongan, sebagai berikut :

#### **1. Senyawa Organik**

Senyawa ini terdiri dari :

- Protein : 40% - 60%
- Karbohidrat : 25% - 50%
- Lemak : 10%

#### **2. Senyawa Anorganik**

Kelompok senyawa anorganik yang berpengaruh terhadap air limbah adalah Alkalinitas, Nitrogen, Fosfat, dan Sulfat.

#### **3. Gas**

Gas yang paling umum terdapat dalam air limbah adalah Hidrogen ( $\text{H}_2$ ), Oksigen ( $\text{O}_2$ ), Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan Nitrogen ( $\text{N}_2$ ). Ditinjau dari karakteristik biologisnya,

kelompok organisme yang penting dalam air limbah terbagi atas 3 kelompok, yaitu :

1. Kelompok Protista (bakteri, alga, protozoa)
2. Kelompok Tumbuh-tumbuhan (paku-pakuan, lumut)
3. Kelompok Hewan

Bakteri sangat berperan penting dalam proses biologis pada pengolahan air limbah, misanya pada *trickling filter*, sedangkan protozoa berfungsi sebagai pengontrol semua bakteri, sehingga terjadi suatu keseimbangan. (Steell, 1979)

## 2.3 Kualitas Air Limbah Domestik

Kualitas suatu air limbah akan dapat terindikasi dari kualitas parameter kunci, dimana konsentrasi parameter kunci tidak melebihi dari standar baku mutu yang ada sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, maka parameter kunci untuk air limbah domestik adalah BOD, COD, TSS, Nitrat dan Phosphat.

Menurut Hammer 1986 dalam Supradata, (2005), kualitas air limbah dari masing – masing kegiatan dapat bervariasi, namun rata- rata kualitas air limbah domestik adalah sebagai berikut:

- MLSS = 240 mg/L
- MLVSS = 180 mg/L
- BOD = 200 mg/L
- Total N = 35 mg/L
- Total P = 10 mg/L

**Tabel 2.1 Konsentrasi Limbah Campuran Influen Tangki Septik**

Parameter	Value (mg/L)
pH, Unit	6,5 to 7,0
Dissolved Oxygen	0 to 3
Biochemical Oxygen Demand	220
Chemical Oxygen Demand	610
Total Organic Carbon	240
Total Phosphorus	30
Phosphates	10
MBAS	23

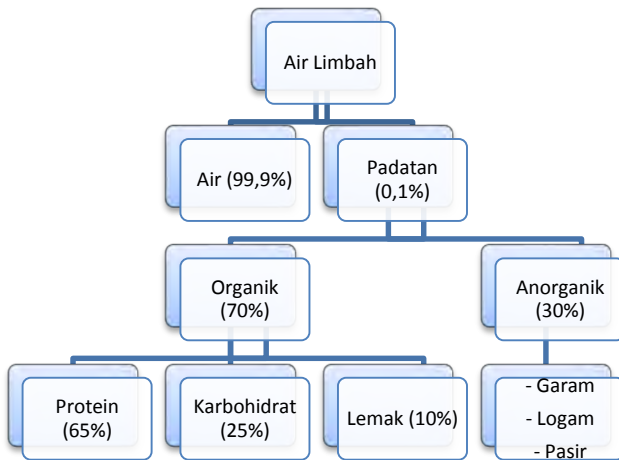
Parameter	Value (mg/L)
Total Solids	700
Total Suspended Solids	300
Total Dissolved Solids	400
Total Nitrogen	35
Kjeldahl Nitrogen	35
Ammonia Nitrogen	25
Organic Nitrogen	10
Nitrate	0
Nitrite	0
Boron	0,25
Sodium	55
Potassium	11
Magnesium	5
Calcium	11
Zinc	5
Copper	11
Lead	0,20
Nickel	0,01
Mercury	0,07
Chromium	0,04
Sulfate	20
Chlorides	45
Grease	100
Alkalinity as CaCO <sub>3</sub>	120
Coliforms - Total Coliform/100ml	25 x 10 <sup>5</sup>
-Fecal Coliform/100ml	3 x 10 <sup>5</sup>
temperature, (°C)	37

*Sumber : Polprasert dan Rajput, 1987*

Dari hasil penelitian di perumahan ITS – Sukolilo-Surabaya oleh Tangahu & Warmadewanthi (2001), bahwa rata – rata karakteristik limbah rumah tangga adalah sebagai berikut :

- pH = 6,92
- BOD<sub>5</sub> = 195 mg/L
- COD = 290 mg/L
- TSS = 480 mg/L
- Suhu = 29°C

Komposisi bahan organik yang terdapat dalam air limbah domestik dapat dilihat secara rinci pada gambar diagram prosentase komponen penyusun air limbah domestik berikut ini :



**Gambar 2.1 Komposisi Komponen penyusun limbah domestik**

*Sumber: Effendi, 2003*

Menurut Rump dan Krist dalam Supradata (2005), bahwa air limbah domestik dapat diklasifikasikan tingkat pencemarannya berdasarkan kualitas parameter air limbah, yaitu :

**Tabel 2.2 Klasifikasi Tingkat pencemaran Air Limbah Domestik**

Parameter	Tingkat Pencemaran		
	Berat	Sedang	Ringan
1. Padatan Total (mg/l)	1000	500	200
2. Padatan Terendapkan (ml/l)	12	8	4
3. BOD (mg/l)	300	200	100
4. COD (mg/l)	800	600	400
5. N Total (mg/l)	85	50	25
6. Ammonia-N (mg/l)	30	30	15
7. Klorida (mg/l)	175	100	15
8. Alkalinitas (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
9. Minyak dan Lemak	40	20	0

*Sumber : Rump dan Krist dalam Supradata, 2005*



## 2.4 Baku Mutu Air Limbah

Baku mutu air limbah merupakan suatu patokan/standar yang digunakan untuk mengukur kadar maksimum jumlah beberapa parameter tertentu yang terkandung dalam air limbah sebelum dibuang ke badan penerima, agar tetap masuk dalam daya tampung badan penerima sehingga dinilai tidak mencemari badan penerima tersebut. Baku mutu yang digunakan adalah baku mutu limbah domestik, karena untuk limbah pemukiman dapat dikategorikan dalam limbah sejenis domestik yang berasal dari kegiatan domestik. Adapun persyaratan yang telah ditetapkan Pemerintah Indonesia sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, adalah sebagai berikut:

- pH = 6-9
- BOD = 100 mg/L
- TSS = 100 mg/L
- Lemak dan Minyak = 10 mg/L

Sedangkan baku mutu air limbah yang digunakan dalam perencanaan ini adalah

**Tabel 2.3. Baku mutu Air Limbah Domestik**

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
<b>BOD<sub>5</sub></b>	mg/L	30
<b>COD</b>	mg/L	50
<b>TSS</b>	mg/L	50

*Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 Tahun 2013*

Sementara berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014 bahwa baku mutu untuk Total Nitrogen adalah sebesar 30 mg/L dan untuk Total Phosphorus berdasarkan PP No. 82 tahun 2001 pada lampiran halaman 1 adalah sebesar 1 mg/L

## 2.5 Debit Air Limbah

Debit air limbah berasal dari kegiatan domestik, infiltrasi air tanah dan faktor lainnya. Debit air limbah rata-rata dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q_{ww} = (60-85) \% \times Q_w \quad (2.1)$$

Keterangan:

$$Q_{ww} = \text{Debit air limbah (liter/orang.hari)}$$

$Q_w$  = Debit rata-rata air bersih (liter/orang.hari)

Faktor pengali debit rata-rata air limbah ditentukan berdasarkan pemakaian air bersih yang keluarannya tidak mengalir menuju unit pengolahan seperti air yang digunakan untuk menyiram tanaman. Persamaan 2.1 tersebut dapat digunakan untuk menentukan debit air limbah domestik maupun nondomestik. Penjumlahan antara debit air limbah domestik dengan nondomestik nantinya debit air limbah rata-rata ( $Q_{ave}$ ).

Debit air limbah tidak dapat berlangsung konstan selama 24 jam. Terdapat fluktuasi yang dipengaruhi oleh pemakaian air bersih, ketika pemakaian air bersih berada pada jam puncak air limbah yang dihasilkan pun membesar. Debit air limbah puncak ( $Q_{peak}$ ) dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q_{peak} = f_{peak} \times Q_{ave} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$Q_{peak}$  = Debit air limbah puncak (l/detik)

$f_{peak}$  = Faktor puncak

$Q_{ave}$  = Debit air limbah rata-rata (l/detik)

Faktor puncak merupakan rasio antara debit puncak dengan debit rata-rata. Menurut Fair dan Geyer, 1954 penentuan faktor puncak dapat dicari dengan persamaan 2.3.

$$f_{peak} = (18 + p^{0.5}) / (4 + p^{0.5}) \quad (2.3)$$

Keterangan :

$P$  = jumlah penduduk (jiwa)

Debit air limbah minimum juga dapat terjadi ketika pemakaian air tidak terlalu banyak. Menurut Fair dan Geyer, 1954 penentuan debit minimum dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q_{min} = 1/5 \times (P)^{1/6} \times Q_{ave} \quad (2.4)$$

Keterangan :

$Q_{min}$  = debit air limbah minimum (l/detik)

$P$  = Jumlah penduduk

$Q_{ave}$  = Debit air limbah rata-rata (l/detik)

## **2.6 Sistem Penyaluran Air Limbah Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih**

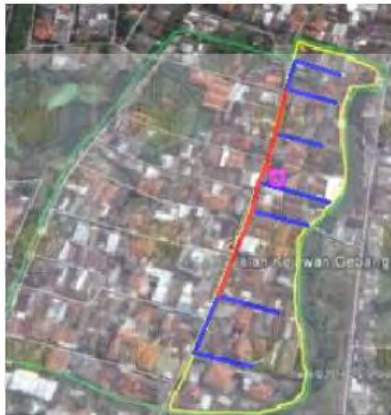
Sistem penyaluran air limbah Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih menggunakan sistem *small bore sewer*. Saluran sistem *Small Bore Sewer* ini dirancang hanya untuk menerima bagian-bagian cair dari air buangan kamar mandi, cuci, dapur

dan limbah air dari tangki septik, sehingga salurannya harus bebas zat padat. Saluran tidak dirancang untuk *self cleansing*, dari segi ekonomis sistem ini lebih murah dibandingkan dengan sistem konvensional (Maryam D, 2002).

Daerah pelayanan relatif lebih kecil, pipa yang dipasang hanya pipa persil dan servis yang menuju lokasi pembuangan akhir, pipa lateral dan pipa induk tidak diperlukan, kecuali untuk beberapa daerah perencanaan dengan kepadatan penduduk sangat tinggi dan timbunan air buangan yang sangat besar. Sistem ini dilengkapi dengan instalasi pengolahan sederhana. Syarat yang harus dipenuhi untuk penerapan sistem ini:

- ❖ Memerlukan tangki yang berfungsi untuk memisahkan padatan dan cairan, tangki ini biasanya tangki septik.
- ❖ Diameter pipa minimal 50 mm karena tidak membawa padatan.
- ❖ Aliran yang terjadi dapat bervariasi.
- ❖ Aliran yang terjadi dalam pipa tidak harus memenuhi kecepatan *self cleansing* karena tidak harus membawa padatan.
- ❖ Kecepatan maksimum 3m/det

Berikut adalah sistem penyaluran air limbah berdasarkan Santoso, 2014.



**Gambar 2.2 Jaringan Pipa Kawasan 1**



**Gambar 2.4 Jaringan Pipa Kawasan 2**



**Gambar 2.3 Jaringan Pipa Kawasan 3**

Keterangan (Garis Berwarna)

1. Hijau : Batas wilayah Kejawan Gebang
2. Kuning : Batas Wilayah Kawasan
3. Biru : Pipa sekunder
4. Merah : Pipa primer
5. Ungu : IPAL

## **2.7 Proses Pengolahan Air Limbah**

Limbah cair baik berasal dari industri maupun domestik harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan akuatik. Proses pengolahan limbah memiliki banyak cara dan

metode, dan secara umum pengolahan limbah terdiri dari proses fisika, kimia, dan biologi. Namun dalam aplikasinya ketiga proses tersebut dapat terintegrasi dalam satu unit pengolahan limbah.

Pengolahan limbah secara biologis adalah suatu cara pengolahan yang diarahkan untuk menurunkan atau menyisihkan substrat tertentu yang terkandung dalam limbah cair dengan memanfaatkan aktifitas mikroorganisme untuk melakukan perombakan substrat tersebut. Proses pengolahan limbah secara biologis dapat dilakukan pada kondisi aerobik, anaerobik, atau kombinasi aerobik-anaerobik. Proses aerobik dengan beban organik yang tidak terlalu besar, sedangkan proses anaerobik digunakan umumnya untuk limbah dengan beban organik yang sangat tinggi. Proses pengolahan limbah secara anaerobik adalah suatu metabolisme tanpa menggunakan oksigen yang dilakukan oleh bakteri anaerobik (Said dan Firly, 2005). Ciri khas dari proses secara anaerobik adalah terbentuknya gas metan ( $\text{CH}_4$ ). Di dalam proses anaerobik yang sangat berperan adalah aktifitas mikroorganisme anaerob. Proses anaerobik memiliki beberapa keuntungan dan kelebihan daripada menggunakan proses anaerob. Kelebihan proses anaerobik adalah :

- Derajat stabilitas yang tinggi.
- Produk lumpur buangan biologis rendah.
- Kebutuhan nutrien rendah.
- Dihasilkan gas metan yang dapat digunakan sebagai sumber energi

## **2.8 *Wetland***

### **2.8.1 Definisi dan Proses Pembentukan Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*)**

Lahan basah buatan (*constructed wetland*) adalah suatu ekosistem lahan basah yang terbentuk akibat intervensi manusia, baik sengaja ataupun tidak sengaja. Lahan basah buatan yang pembentukannya disengaja, biasanya difungsikan untuk memenuhi berbagai kepentingan tertentu; misalnya untuk meningkatkan produksi lahan pertanian dan perikanan, pembangkit tenaga listrik, sumber air, atau untuk meningkatkan keindahan bentang alam bagi keperluan pariwisata. Sedangkan lahan basah buatan yang pembentukannya tidak disengaja umumnya memiliki tujuan pemanfaatan yang kurang jelas, misalnya genangan air yang terbentuk di lahan-lahan bekas

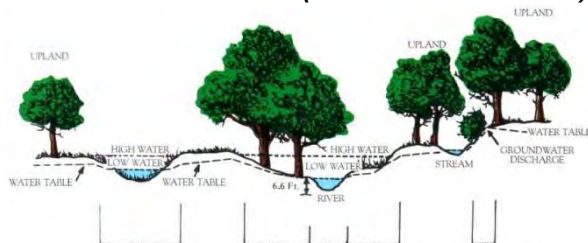
kegiatan tambang. Dalam perkembangannya, lahan basah buatan dapat mengalami suksesi sehingga tampak seperti ekosistem alami (Wibowo et al., 1996)

Secara garis besar, *wetland* dibedakan menjadi dua yaitu:

- **Lahan Basah Alami (*Natural wetland*)**

Sistem ini umumnya merupakan suatu sistem pengolahan limbah dalam area yang sudah ada secara alami, contohnya daerah rawa. Kehidupan biota dalam lahan basah alamiah sangat beragam. Debit air limbah yang masuk, jenis tanaman dan jarak tumbuh pada masing – masing tanaman tidak direncanakan serta terjadi secara alamiah.

- **Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*)**



**Gambar 2.5 Natural Wetland**

Sumber: US Fish and Wildlife Service, 2010

Sistem pengolahan yang direncanakan, seperti untuk debit limbah, beban organik, kedalaman media, jenis tanaman, dan lain-lain, sehingga kualitas air limbah yang keluar dari sistem tersebut dapat dikontrol/diatur sesuai dengan yang dikehendaki oleh pembuatnya.



**Gambar 2.6 Constructed Wetland**

Sumber: USAID, 2006

### 2.8.2 Proses *Phytoremediasi* dalam *Wetland*

*Phyto* berasal dari kata Yunani - *phyton* yang berarti tumbuhan/ tanaman (*plant*), *Remediation* asal kata latin *remediare* (*remedy*) yaitu memperbaiki sesuatu atau membersihkan sesuatu. Jadi *Phytoremediation* merupakan suatu sistem dimana tanaman tertentu yang bekerjasama dengan micro-organisme dalam media (tanah, koral dan air) dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang berguna secara ekonomi.

#### A. Proses *Phytoremediasi*

Proses pada sistem ini berlangsung secara alami dengan enam tahap proses secara serial yang dilakukan tumbuhan terhadap zat kontaminan yang berada di sekitarnya.

- a. ***Phytoaccumulation (phytoextraction)*** yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi disekitar akar tumbuhan. Proses ini disebut juga *Hyperaccumulation*.
- b. ***Rhizofiltration*** (rhizo = akar) adalah proses adsorpsi atau pengedapan zat kontaminan oleh akar untuk menempel pada akar. Percobaan untuk proses ini dilakukan dengan menanam bunga matahari pada kolam mengandung radio aktif untuk suatu tes di Chernobyl, Ukraine.
- c. ***Phytostabilization*** yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil) pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media.
- d. ***Rhizodegradation*** disebut juga *enhanced rhizosphere biodegradation, or planted assisted bioremediation degradation*, yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada di sekitar akar tumbuhan. Misalnya ragi, fungi, dan bakteri.
- e. ***Phytodegradation (phyto transformation)*** yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi bahan yang tidak berbahaya dengan dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang

dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri. Beberapa tumbuhan mengeluarkan enzim berupa bahan kimia yang mempercepat proses degradasi.

- f. **Phytovolatilization** yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya diuapkan ke atmosfer. Beberapa tumbuhan dapat menguapkan air 200 sampai dengan 1000 liter per hari untuk setiap batang.

### **B. Konsep Perencanaan *Wetland***

Beberapa ketentuan yang diperlukan untuk merencanakan *constructed wetland* adalah sebagai berikut:

1. Unit *wetland* harus didahului dengan bak pengendap untuk menghindari penyumbatan pada media koral oleh partikel-partikel besar.
2. Konstruksi berupa bak/kolam dari pasangan batu kedap air dengan kedalaman  $\pm 1$  m.
3. Kolam dilengkapi pipa *inlet* dan pipa berlubang-lubang untuk *outlet*.
4. Kolam diisi dengan media koral (batu pecah atau kerikil) diameter (5-10) mm setinggi/ setebal 80 cm.
5. Ditanami tumbuhan air dicampur beberapa jenis yang berjarak cukup rapat, dengan melubangi lapisan media koral sedalam 40 cm untuk dudukan tumbuhan.
6. Dialirkan air limbah setebal 70 cm dengan mengatur level (ketinggian) *outlet* yang memungkinkan media selalu tergenang air berada 10 cm di bawah permukaan koral.
7. Desain luas kolam berdasarkan beban BOD yang masuk tiap hari dibagi dengan *loading rate* pada umumnya. Untuk Amerika utara = 32,10 kg BOD/Ha/hari. Untuk daerah tropis kira-kira = 40 kg BOD/Ha/hari .

*Wetland*, untuk pengolahan limbah secara alami yang terdiri dari tiga faktor utama, yaitu:

- (1) Area yang digenangi air dan mendukung hidupnya *aquatic plant* jenis *Hydrophita*,
- (2) Media tumbuh berupa tanah yang selalu digenangi air,
- (3) Media jenuh air

Menurut Novotny dan Olem, 1994 yang dikutip oleh Widyastuti, 2005, *wetland* dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu:



1. *Wetland* dengan aliran di atas permukaan tanah (*Free Water Surface System*). *Free Water Surface (FWS) System* biasanya berupa kolam atau saluran-saluran yang dilapisi lapisan *impermeable* di bawah saluran atau kolam yang berfungsi untuk mencegah merembesnya air keluar kolam atau saluran. Kemudian kolam tersebut terisi tanah sebagai tempat hidup tanaman yang hidup
2. *Wetland* dengan aliran di bawah permukaan tanah (*Sub-surface Flow System*). Pada *Sub-surface Flow (SSF) system*, pengolahan limbah terjadi ketika air mengalir secara perlahan melalui tanaman yang ditanam pada media berpori, misalnya gravel, kerikil dan tanah.  
*Sub-surface Flow (SSF)* mempunyai beberapa keunggulan daripada *Free Water Surface (FWS)*:
  1. Karena sistem SFS ditutup dengan pasir atau tanah, sehingga tidak ada resiko langsung terhadap potensi timbulnya nyamuk, serta sistem ini mampu memberikan transfer oksigen yang lebih banyak daripada sistem FWS.
  2. Dengan input yang sama lahan yang dibutuhkan untuk sistem SSF lebih kecil daripada FWS.

Keuntungan penggunaan Sistem *Wetland* antara lain:

  - 1) Kebutuhan luas lahan sangat relatif (tergantung kebutuhan).
  - 2) Biaya pengolahan dan perawatan lebih murah.
  - 3) Tidak memerlukan tenaga ahli untuk operasional dan pemeliharannya karena teknologinya sederhana dan sangat sesuai untuk area yang natural.
  - 4) Mampu mengolah air limbah domestik dan industri dengan baik ditunjukkan dengan efisiensi pengolahan yang tinggi
  - 5) Sistem manajemen kontrol mudah.
  - 6) Merupakan teknologi ramah lingkungan.
  - 7) Biaya konstruksi murah.
  - 8) Dapat memberikan manfaat ganda karena dapat berfungsi sebagai media hidup hewan dan makhluk hidup lain.
  - 9) Cocok dikembangkan di pemukiman kecil, dimana harga tanah lebih murah dan air limbah berasal dari rumah tangga

Kelemahan sistem *Wetland* antara lain:

- 1) Pengoperasian sistem ini tergantung pada kondisi lingkungan termasuk iklim dan suhu. Pengolahan kurang optimal untuk daerah dengan suhu rendah.
- 2) Berpotensi menimbulkan bau seperti hasil dari proses dekomposisi tanaman.
- 3) Dapat terjadi sarang nyamuk jika terjadi genangan air.
- 4) Kemungkinan berpindahnya bahan pencemar ke biomassa yang dikonsumsi manusia.
- 5) Kriteria desain dan operasi masih belum jelas untuk saat ini.
- 6) Kompleksitas biologis dan hidrolis, serta masih kurangnya kemampuan untuk memahami proses yang terjadi dalam pengolahan.

#### Proses-Proses Pengolahan dalam Sistem *Wetland*

Adapun proses-proses yang terjadi dalam sistem pengolahan air limbah dengan memanfaatkan tanaman air dengan sistem *wetland*:

- a. Proses Fisika dengan mekanisme removal sedimentasi dan filtrasi.
- b. Proses Fisika dan Kimia dengan mekanisme removal adsorpsi dan presipitasi fosfor dan logam berat.
- c. Proses Biokimiawi dengan mekanisme removal: penurunan bahan organik, nitrifikasi, denitrifikasi, dekomposisi anaerobik, penyerapan tumbuhan air.

#### Faktor Desain *Wetland*

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam desain reaktor *Wetland* :

- a. Waktu Detensi Penyisihan Bahan Pencemar
- b. *Organic Loading Rate*
- c. Luas Permukaan Yang dibutuhkan
- d. Aspek Ratio dan Desain Hidrolik

### **2.8.3 Faktor yang Mempengaruhi Sistem Lahan Basah Aliran Bawah Permukaan (SSF-*Wetlands*).**

Dalam proses pengolahan air limbah dengan Sistem ini, terdapat 4 (empat) faktor atau komponen yang mempengaruhi kinerja sistem tersebut, yaitu :

#### **1. Tanaman**

Jenis tanaman yang sering digunakan untuk Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan adalah jenis tanaman air atau

tanaman yang tahan hidup di air tergenang (*Submerged plants* atau *amphibiuous plants*). Pada umumnya tanaman air tersebut dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) tipe / kelompok, berdasarkan area pertumbuhannya di dalam air. Adapun ketiga tipe tanaman air tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Tanaman yang mencuat ke permukaan air, merupakan tanaman air yang memiliki sistem perakaran pada tanah di dasar perairan dan daun berada jauh di atas permukaan air.
- b. Tanaman yang mengambang dalam air, merupakan tanaman air yang seluruh tanaman (akar, batang, daun) berada di dalam air.
- c. Tanaman yang mengapung di permukaan air, merupakan tanaman air yang akar dan batangnya berada dalam air, sedangkan daun di atas permukaan air.

Dari ketiga tipe tanaman air tersebut, yang umum digunakan untuk lahan basah buatan, adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.4 Jenis Tanaman Untuk Lahan Basah**

Tanaman yang mencuat di permukaan air	Tanaman yang Mengambang dalam air	Tanaman yang mengapung di permukaan air
<i>Scirpus robustus</i>	<i>Potamogeton spp.</i>	<i>Lagorosisiphon major</i>
<i>Scirpus lacustris</i>	<i>Egeria densa</i>	<i>Salvinia rotundifolia</i>
<i>Scirpus validus</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Spirodela polyrhiza</i>
<i>Scirpus pungens</i>	<i>Elodea nuttallii</i>	<i>Pistia stratoites</i>
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	<i>Lemna minor</i>
<i>Phragmites australis</i>	<i>Algae</i>	<i>Eichornia crassipes</i>
<i>Phalaris arundinacea</i>		<i>Wolffia arrhiza</i>
<i>Thypha domingensis</i>		<i>Azolla caroliniana</i>
<i>Thypha latifolia</i>		<i>Hydrocotyle umbellata</i>
<i>Thypha orientalis</i>		<i>Lemna gibba</i>
<i>Canna flaccida</i>		<i>Ludwigia spp.</i>
<i>Cyperus papyrus</i>		

Menurut Reed dalam Leady (1997), tanaman yang sering digunakan dalam Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands) adalah jenis tanaman *amphibiuous plants* antara lain “cattails” (*Thypha angustifolia*), “bulrushes” (*Scirpus actutus*),

“reeds” (*Phragmites australis*), “rushes” (*Juncus articulatus*) dan “sedges” (*Carex aquatilis*). Namun demikian, jenis tersebut merupakan tanaman semak yang kurang mempunyai nilai estetika, sehingga apabila diaplikasikan untuk pengolahan air limbah, tidak dapat memberi nilai lebih terhadap aspek keindahan sehingga kurang representatif digunakan untuk pengolahan limbah bentuk taman.

Dari beberapa jenis tanaman *amphibious plants* tersebut yang merupakan tanaman hias dan memiliki nilai estetika. Salah satunya adalah “Bintang Air” (*Cyperus alternifolius*), sehingga penerapan terhadap jenis tersebut untuk pengolahan limbah sekaligus dapat dimanfaatkan sebagai taman atau sering disebut sebagai Taman Pengolah Limbah (*Waste water Garden*). Tanaman/ vegetasi dalam sistem *Wetland* mengambil peranan penting karena memiliki beberapa fungsi sebagai berikut:

- a. Menyediakan kebutuhan oksigen bagi akar dan daerah perakaran.
- b. Menjadi komponen penting dalam proses transformasi nutrisi yang berlangsung secara fisik dan kimia mendukung proses pengendapan terhadap partikel tersuspensi.
- c. Proses kematian pada akar disertai pelepasan bahan organik yang mendukung proses denitrifikasi.
- d. Sebagai media tumbuh mikroorganisme.
- e. Mendukung proses filtrasi bahan solid.

## 2. Media Tumbuh (Substrat)

Media pada *wetland* berfungsi sebagai tempat tumbuh tanaman dan sebagai tempat hidup mikroorganisme pengurai. Media yang digunakan dalam reaktor Lahan Basah Aliran Bawah Permukaan (SSF-*Wetlands*) secara umum dapat berupa tanah, pasir, batuan atau bahan – bahan lainnya. Tingkat permeabilitas dan konduktivitas hidrolis media tersebut sangat berpengaruh terhadap waktu detensi air limbah, dimana waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dengan air limbah, serta oksigen yang dikeluarkan oleh akar tanaman (Wood dalam Tangahu & Warmadewanthi, 2001). Media tumbuh dalam sistem SSF (*Sub-Surface Flow*) dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu :

- a. *Medium sand*, media dengan struktur halus karena komposisi butiran lebih sedikit dari pasir, berdiameter antara 0,04-0,11 mm dan lolos ayakan 2-20.
- b. *Coarse sand*, media dengan struktur komposisi tanah berupa butiran besar dengan kandungan kerikil kurang dari 15% dan pasir lebih dari 85%. Struktur media ini antara *medium sand* dan *gravel* dan lolos ayakan 2-20.
- c. *Gravelly sand*, media ini merupakan kombinasi antara pasir-kerikil dengan prosentase pasir 85% dan kerikil 15%. Tanah mengandung lebih dari 70% pasir, porositas kurang dari 40%.

**Tabel 2.5 Karakteristik Tipikal Media Untuk SFS**

Tipe Media	Max 10% grain size, mm	Porositas, $\alpha$	Hydraulic Conductivity, ks	K <sub>20</sub>
<b>Medium sand</b>	<b>1</b>	<b>0,42</b>	<b>1380</b>	<b>1,84</b>
<b>Coarse sand</b>	<b>2</b>	<b>0,39</b>	<b>1575</b>	<b>1,34</b>
<b>Gravelly sand</b>	<b>8</b>	<b>0,35</b>	<b>1640</b>	<b>0,86</b>

*Sumber : Metcalf & Eddy, 2001*

### 3. Mikroorganisme

Mikroorganisme yang diharapkan tumbuh dan berkembang dalam media *SSF-Wetlands* tersebut adalah jenis heterotropik aerobik, karena pengolahan berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan mikroorganisme anaerobik (Vymazal dalam Tangahu & Warmadewanthi, 2001). Untuk menjamin kehidupan mikroorganisme tersebut dapat tumbuh dengan baik, maka transfer oksigen dari akar tanaman harus dapat mencukupi kebutuhan untuk kehidupan mikroorganisme. Kandungan oksigen dalam media akan disuplai oleh akar tanaman, yang merupakan hasil samping dari proses fotosintesis tanaman dengan bantuan sinar matahari. Dengan demikian, maka pada siang hari akan lebih banyak terjadi pelepasan oksigen.

Kondisi aerob pada daerah sistem perakaran (*rhizosphere*) dan ketergantungan mikroorganisme aerob terhadap pasokan oksigen dari sistem perakaran tanaman yang ada dalam *SSF-Wetlands*, akan menyebabkan jenis – jenis mikroorganisme yang dapat hidup pada *rhizosphere* tersebut hanya jenis tertentu

dan spesifik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bagwell C.E., et all (1998) terhadap mikroorganisme *rhizosphere* pada akar rumput-rumputan yang terdapat pada daerah rawa (*Wetland*) ditemukan 339 strains, yang termasuk dalam familia Enterobacteriaceae, Vibrionaceae, Azotobacteraceae, Spirillaceae, Pseudomonadaceae, Rhizobiaceae. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Grieve, C. M., el all (2003), menyebutkan bahwa komposisi mikrobia yang terdapat dalam *effluent Wetland Constructed* dengan analisis DGGE (*Denaturing Gradient Gel Electrophoresis*) didominasi oleh jenis Bacillus, Clostridium, Mycoplasma, Eubacterium, Nitrobacter dan Nitrosospira.

#### 4. Temperatur

Temperatur merupakan salah satu faktor yang turut menentukan kualitas *effluent* pada sistem ini. Temperatur berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme dalam mengolah air limbah.

### 2.9 Kinerja Constructed Wetland

Kinerja CW dapat dilihat dari kemampuannya dalam menurunkan kadar pencemar atau parameter pencemar. Beberapa penelitian menunjukkan hasil presentase penurunan polutan missal BOD hingga mencapai 60% - 99,7% (Raude et al.,2009; Weissenbacher dan Mullegger, 2009; Dallas, Scheffe dan Ho, 2005.) Perbandingan kinerja CW berdasarkan bentuk reaktor dengan menggunakan tanaman air yang sama dalam menurunkan kadar polutan disajikan pada Tabel 2.6 dan 2.7.

**Tabel 2.6 Efisiensi Penurunan TS, COD, dan LAS Waktu tinggal 1 hari dari reaktor berbentuk bujur sangkar**

Parameter	Cattail	Kana
TS	52%	56%
COD	65%	61%
LAS	48%	42%

*Sumber: Dhokikah, 2006*

**Tabel 2.7 Efisiensi Penurunan TS, COD, dan LAS Waktu tinggal 1 hari dari reaktor berbentuk persegi panjang**

Parameter	Cattail	Kana
TS	41%	46%

Parameter	Cattail	Kana
COD	72%	72%
LAS	68%	65%

Sumber: Dhokikah, 2006

Dengan perbedaan bentuk reaktor sebagaimana disajikan pada tabel 3 dan 4, menunjukkan bahwa reaktor berbentuk persegi panjang memiliki kinerja yang lebih baik dalam menurunkan COD dan LAS. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa cattail memiliki kinerja yang baik dalam menurunkan beban pencemar dalam bentuk COD dan TSS, untuk waktu tinggal 1 hari dan 3 hari. Dari Kedua penelitian tersebut belum Nampak kinerja optimal *Constructed Wetland* pada waktu tinggal beberapa hari. Penelitian lain dilakukan di Kota Nakuru Kenya, untuk mengolah limbah cair domestik (grey water) ditampilkan pada Tabel 2.8.

**Tabel 2.8 Kinerja *Horizontal Sub Surface Flow-Constructed Wetland* di Crater View Secondary School**

Parameter	Units	Influent	Effluent	Reduction
<b>Salinity</b>	g/l	1,00	0,80	20
<b>DO</b>	mg/l	3,01	0,08	-
<b>TDs</b>	mg/l	1257	1084	14
<b>BOD<sub>5</sub></b>	mg/l	104,0	0,33	99,7
<b>TSS</b>	mg/l	255	9,00	97
<b>TP</b>	mg/l	2,43	0,29	88
<b>NH<sub>4</sub></b>	mg/l	3,17	0,09	97

Sumber: Raude et al., 2009

Kinerja *Constructed Wetland* (CW) dengan ukuran 2 x 1 m<sup>2</sup> dan kedalaman 0,86 m yang didahului dengan proses *pre treatment*, dan waktu tinggal 2 hari menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan kinerja reaktor dari penelitian lain (Raude et al. 2009.). *Constructed Wetland* ini menggunakan rumput *Vetiveria zizoniades* (akar wangi). Kemampuan CW dengan waktu tinggal 2 hari mampu menurunkan kadar TSS sebesar 97% dan BOD<sub>5</sub> 99,7 %, menggunakan CW dua tahap dengan menggunakan tanaman *Caix lacryma-jobi* memberikan hasil penurunan BOD sebesar 99,4%, penurunan kadar *coliformes* sebesar 99,9% (Dallas, 2006). Dengan demikian penggunaan rumput *Vertiveria zizoniades* memberikan hasil yang baik dalam mereduksi kadar BOD<sub>5</sub>, namun kurang dalam menurunkan kadar *coliforms*. Dari hasil tersebut,

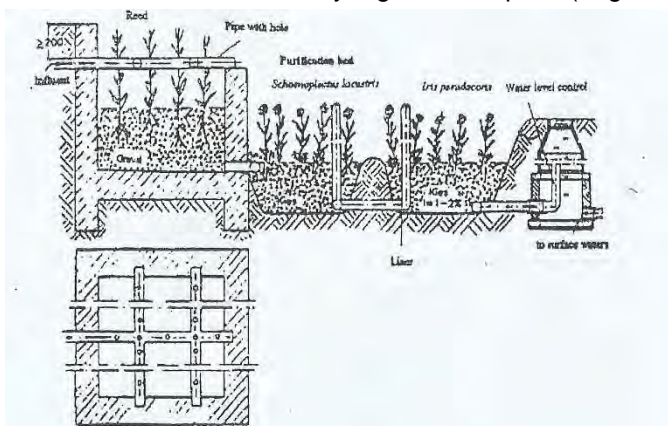
maka pemilihan jenis tanaman akan menunjang kinerja CW bila mempertimbangkan jenis limbah yang akan diolah.

## 2.10 Jenis-jenis Model Pengembangan Sistem *Wetland*

Menurut Bonn (1985) *wetland* mengolah limbah cair melalui proses kimia, fisika, biologis. *Wetland* menggunakan berbagai jenis gulma air *emergent* seperti *Phragmites australis*, *Phragmites karka*, *Typha latifolia*, *Juncus effuses*, dan *Schoenoplectus lacustris*. Gulma air *emergent* ini umumnya ditanam dengan menggunakan *rhizome*. Gulma air *emergent* ini digunakan untuk mengolah limbah cair karena gulma air ini mempunyai selubung udara atau *aerenchyma* yang mampu mentransfer oksigen dari udara dan melepaskannya pada daerah perakaran, sehingga daerah perakaran bersifat aerob. Di Negara Jerman sebagai Negara asal *wetland* ini terdapat empat sistem pengolah limbah cair, yaitu sebagai berikut:

### 1. Dr. Seidel System/Hydrobotanical System

Sistem ini dikenal dengan *Krefeld system* atau *Schlif-Binsenklaeranlagen*. Sistem ini dibuat berdasarkan hipotesis bahwa tumbuhan *helophyte* mempunyai potensi untuk mengisap bahan organik pencemar (Seidel dan Happel, 1981). Sistem ini terdiri dari empat sampai lima *filter bed* yang disusun secara paralel dan ditanami dengan tumbuhan *helophyte*. *Filter bed* pertama terdiri dari aliran vertikal yang diisi oleh pasir (bagian atas)



**Gambar 2.7 Seidel System**

Sumber: Kurniadie, 2011

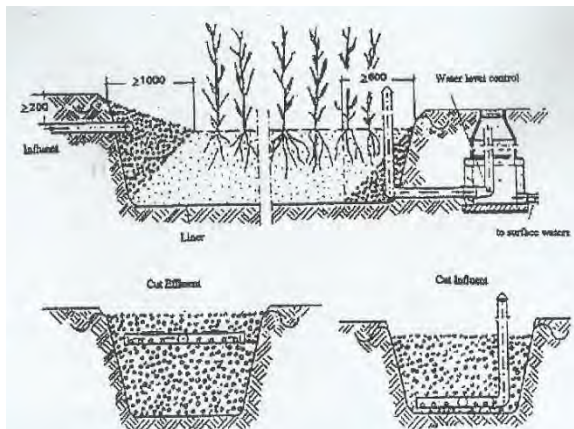


dan kerikil pada bagian bawahnya dan ditanami tumbuhan *Phragmites australis*. *Filter bed* yang kedua terdiri dari aliran horizontal yang ditanami berbagai tumbuhan seperti *Schoenoplectus lacustris*, *Typha latifolia* dan *Iris pseudacorus* (Gambar 2.7).

Efisiensi pembersih dari sistem ini adalah 80% untuk bahan organik pencemar, 60% untuk *total phosphate* tetapi pembersih unsur nitrogen relatif rendah. Kelemahan dari sistem ini yaitu memerlukan areal yang lebih luas dan estetika kurang baik. Menurut Lienard et al. (1990) sistem ini banyak digunakan di Negara Perancis tetapi banyak menimbulkan masalah terutama sering mampet, sehingga menimbulkan aliran permukaan pada *filter bed*.

## 2. Prof. Kickut System (Root Zone Method)

Sistem ini mempunyai tipe aliran horizontal dan menggunakan media tanah liat berat atau tanah top soil atau tanah lapisan permukaan/atas dan ditanami tumbuhan *Phragmites australis* (Gambar 2.8). Media tanah biasanya ditambah unsur Ca, Fe, dan, Al untuk mengikat unsur *phosphate* pencemar limbah cair. Pada sistem ini bahan organik pencemar didekomposisi, unsur nitrogen pencemar dinitrifikasi dan denitrifikasi, sedangkan unsur *phosphate* pencemar diikat oleh koloid liat Fe, Al, dan Ca. Kelemahan dari sistem ini dibandingkan sistem yang lain adalah



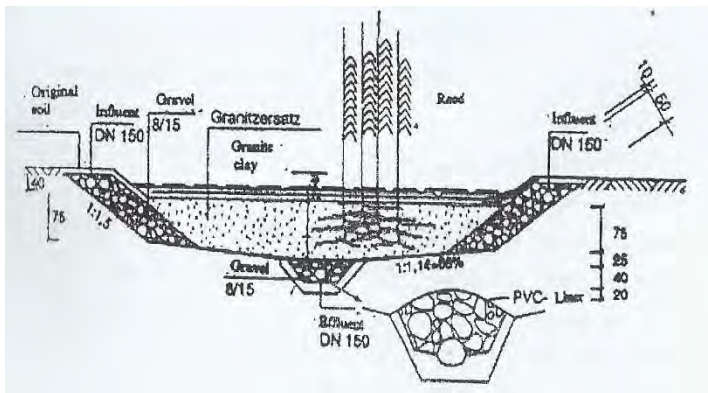
**Gambar 2.8 Kickut System**

Sumber: Kurniadie, 2011

adalah sering mampet sehingga filter bed tergenang, degradasi biologi berkurang serta menimbulkan bau (Lucy et al., 1991). Kelebihan sistem ini adalah menggunakan media tanah yang tersedia setempat (in situ) dan mampu menyerap *phosphate* pencemar yang lebih tinggi dibandingkan sistem lain.

### 3. *Filter (Geller System)*

*Planted soil filter* dikembangkan oleh Geller dengan tujuan untuk menghindari adanya mampet yang menyebabkan terjadinya aliran permukaan atau tergenang pada *filter bed* (Gambar 2.9). Sistem Geller ini mulai dibuat di Jerman pada tahun 1986 dengan menggunakan 70-80% gravel dan pasir serta 20% liat sebagai bahan substrat tau media *filter bed*.



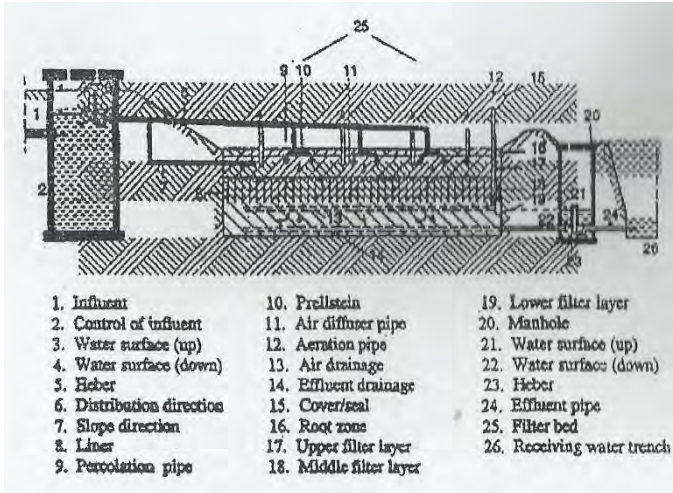
**Gambar 2.9 Geller System**

Sumber: Kurniadie, 2011

### 4 *Pietsc System/Phytofilt System*

*Phytofilt system* merupakan sitem yang lebih canggih yang dikembangkan oleh Loeffler dan Pietsc (1991). Sistem ini terdiri dari berbagai lapisan dengan alat pemompa limbah cair yang dipasang secara otomatis atau *syphon* (Gambar 2.10). Pada system ini akan terbentuk lapisan aerob dan anoxic pada *filter bed*. Sistem pemompaan limbah cair yang teratur (*intermittent*) sangat baik untuk aerasi tanah sehingga mempercepat degradasi biologis dari bahan organik pencemar. Kelebihan sistem ini adalah efisiensi

yang tinggi untuk unsur hara pencemar. Menurut Loeffler dan Pietsch (1991) sistem ini dengan menggunakan areal 5 m<sup>2</sup>/p.e mampu mengurangi kandungan BOD<sub>5</sub> pencemar sebesar 98,6%, COD 95,4%, total N sebesar 70%, NH<sub>4</sub>-N 99,6 %, dan total P sebesar 95,4%.



**Gambar 2.10 Pietsch System**

Sumber: Kurniadie, 2011

## 2.11 Penelitian Terdahulu

Perencanaan sistem *subsurface constructed wetland* dalam pengolahan air limbah domestik dengan pemanfaatan tanaman *Cyperus papyrus* pada penelitian Ni Wayan (2005) bertujuan untuk menentukan dimensi reaktor dan sistem pengaliran reaktor alir kontinu dengan pengaturan bak-bak yang ada. Tahapan perencanaan SSF sebagai berikut:

i. Untuk Media Pasir

### 1. Waktu Detensi

Waktu detensi yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan:

$$t = \frac{\ln C / \ln Co}{kT} \dots \dots \dots (2-1)$$

Dimana:

C= konsentrasi efluen yang diharapkan (mg/l)

Co= konsentrasi influen (mg/l)

kT= koefisien pengaruh temperatur, dihitung dengan:

$$K_T = K_{20} 1,06^{(T-20)}$$

$$K_T = 1,1(1,06)^{(T_{20})} \dots \dots \dots (2-2)$$

Pada analisis pendahuluan, didapatkan data sebagai berikut:

- ❖ Konsentrasi BOD<sub>5</sub> (influen) tangki septik: 50-85 mg/l, dengan rata-rata 80 mg/l
  - ❖ Temperatur efluen tangki septik: 27-30°C
- Sehingga dapat diperoleh  $K_T = 1,65$ , dan  $t = 1$  hari

## 2. Penentuan Debit

Dengan waktu detensi 1 hari untuk mengolah air limbah domestik. Berdasarkan penelitian Wolverton's work di Louisiana, US EPA (1993), performa yang sangat tinggi ditunjukkan untuk parameter BOD<sub>5</sub>, TSS, dan NH serta performa yang cukup baik untuk fosfor dengan waktu tinggal 1 hari, dengan desain beban hidrolis yang dapat digunakan sebesar 0,13 m<sup>3</sup>/hr. Maka pada penelitian ini digunakan debit 0,13 m<sup>3</sup>/hr dengan waktu tinggal 24 jam dan 0,26 m<sup>3</sup>/hr untuk waktu tinggal 12 jam.

## 3. Dimensi Reaktor

### a. Kedalaman

Kedalaman media vegetasi dengan *horizontal subsurface constructed wetland* berdasarkan pada kebutuhan akar dan rhizome dari tanaman yang sebaiknya dapat berpenetrasi sampai kedalaman penuh dari reaktor dalam rangka meminimalkan total zona anaerobik (Vyzamal et al, 1998). Tanaman *Cyperus papyrus* dapat mencapai ketinggian rata-rata 3,1 meter, serta ketinggian maksimum mencapai 6 meter. Akan tetapi akarnya hanya berada pada kedalaman 0,4-0,6 m. Agar tanaman ini dapat tumbuh dengan optimum, maka dipilih kedalaman maksimum 0,6 m.

### b. Luas Permukaan (As)

Luas permukaan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

- ❖ Untuk debit 0,13 m<sup>3</sup>/hr

$$A_s = \frac{(Q_{ave})(t)}{(\eta)(dw)} \dots \dots \dots (2-3)$$

$$A_s = \frac{(0,13 \frac{m^3}{hr})(1 \text{ hari} \times 1440 \frac{mnt}{hari})}{(0,39)(0,6)} = 0,55 \text{ m}^2$$

- ❖ Untuk debit 0,26 m<sup>3</sup>/hr

Digunakan reaktor yang sama, sehingga tidak ada perubahan luas permukaan.

c. Rasio Panjang dan Lebar

Rasio panjang dan lebar direncanakan  $P:L = 1 \frac{1}{2} : 1$ . Menurut Vymazal (1998), sebagian besar area vegetasi dibuat dengan aspek rasio panjang dan lebar  $<2$  dan sebagian lagi dengan aspek rasio  $<1$ . Alasan utama untuk aspek ratio yang rendah adalah untuk mendistribusikan air limbah selebar-lebarnya dengan tujuan menghindari penyumbatan (*clogging*) pada zona *inlet* (Vymazal, 2002).

Dengan rasio  $P:L = 1 \frac{1}{2} : 1$ , maka:

$$A = 11/2 L \times L$$

$$0,55 = 1,5 L^2$$

$$L^2 = 0,366$$

$$L = 0,6 \text{ m}$$

$$P = 0,9 \text{ m}$$

#### 4. Desain Hidraulik

Tujuan dari desain hidraulik ini adalah untuk menyediakan gradien hidraulik (*slope*) yang cukup untuk memastikan terjadinya aliran *subsurface constructed wetland*. Tanpa adanya slope maka akan ada genangan yang timbul pada reaktor sehingga proses penyisihan bahan organik. Aspek ratio harus dihubungkan dengan hukum Dracy, dengan persamaan berikut:

$$\text{Across} = dw.w =$$

$$Q/k.S \dots \dots \dots (2-4)$$

❖ Untuk debit  $0,13 \text{ m}^3/\text{hr}$

$$\text{Across} = dw.w = Q/k.S$$

$$(0,6\text{m} \times 0,6\text{m}) = \frac{0,13\text{m}^3/\text{hr}}{23,248 \times S}$$

$$S = 0,0155$$

$$\Delta H = S \times L = 0,0155 \times 0,9\text{m} = 0,01395 \text{ m} = 0,014 \sim 1,4 \text{ cm}$$

❖ Untuk debit  $0,26 \text{ m}^3/\text{hr}$

$$\text{Across} = dw.w = Q/k.S$$

$$(0,6\text{m} \times 0,6\text{m}) = \frac{0,26 \text{ m}^3/\text{hr}}{23,248 \times S}$$

$$S = 0,031$$

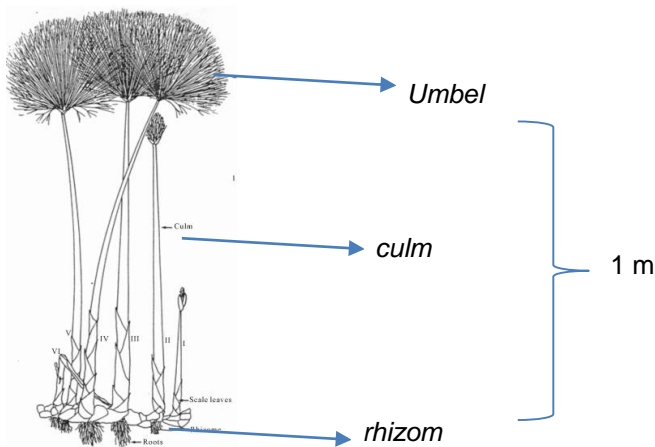
$$\Delta H = S \times L = 0,031 \times 0,9\text{m} = 0,028\text{m} \sim 2,8 \text{ cm}$$

## 2.12 *Cyperus papyrus*

*Cyperus papyrus* merupakan spesies dominan rawa-rawa di Afrika Timur dan Tengah. Ekosistem lahan basah ini menyediakan layanan ekologi dan sosial-ekonomi yang berkaitan dengan pemanenan biomassa udara, pengolahan air limbah, fungsi hidrologis, dan modifikasi iklim. Tanaman ini telah dimanfaatkan untuk pembuatan kertas sejak zaman mesir kuno. Selain itu, juga dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan perahu, tali, kain, obat, dan pembungkus *mummy*. *Cyperus papyrus* merupakan tumbuhan monokotil yang habitat alaminya adalah di pinggiran sungai, danau, dan rawa. Tumbuhan ini termasuk dalam *family* rumput. Berikut ini adalah klasifikasi ilmiah *Cyperus papyrus*

- Kingdom : Plantae
- Super Divisi : Angiospermae
- Divisi : Monokotil
- Kelas : Commelinids

Lahan basah dengan tanaman papirus, struktur *aerial* terdiri dari selubung, batang, dan umbel (Gambar 2.7).



**Gambar 2.11 *Cyperus papyrus***

Sumber: *Journal of Ecology*, 2014

### 2.13 Kana

Bunga kana adalah sejenis tanaman perdu, tumbuh tegak dengan tinggi mencapai 2 meter. Bunga kana tumbuh keluar di ujung pucuk mempunyai daun tunggal, bulat telur memanjang, bertangkai pendek menjadi pelepah, ujung dan pangkal runcing, menyirip jelas, dan memiliki lapisan lilin. Bunga majemuk tumbuh bercabang, tersusun dalam rangkaian, mahkota bunga besar dengan warna-warna cerah seperti merah, kuning dan jingga (Dalimartha, 2003).

Bunga kana sering ditemukan sebagai tanaman hias di pekarangan atau ditaman-taman. Bunga kana berasal dari Amerika tropis dan bisa ditemukan di dataran rendah sampai ketinggian 1.000 meter dari permukaan laut. Tumbuh subur di tempat terbuka atau sedikit terlindung dari sinar matahari (Dalimartha, 2003). Bunga Kana iklasifikasikan sebagai berikut:



**Gambar 2.12 Kana**

*Sumber: bibitbunga.com, 2016*

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Kelas	: Monocotyledoneae
Ordo	: Zingiberales
Genus	: <i>Canna</i>
Spesies	: <i>Canna indica</i> L.
Nama Lokal	: Bunga Kana

### 2.14 Bambu Air

Tanaman Bambu air dikenal dengan nama lain Tanaman Paku Ekor Kuda. Dalam bahasa latin tanaman Bambu air dikenal

dengan nama *Equisetum hyemale*. Selain sebagai Tanaman Hias. Tanaman Bambu air atau Paku Ekor Kuda ini juga mengandung silikat yang memiliki fungsi sebagai obat. Tanaman Bambu air di alam bebas dapat tumbuh sampai 3 meter dengan batang yang berongga, memiliki sendi pada bagian batangnya. Meskipun tanaman berdaun muncul, cincin cokelat di sekitar masing-masing sendi pada tangkai dianggap daunnya. Tanaman Bambu air ini sering ditanam pada taman yang akan memperindah taman. Seperti halnya tanaman Bambu Kuning, tanaman bambu air ini juga bisa dimanfaatkan sebagai pagar rumah minimalis.

Tanaman Bambu air ini umumnya menyukai daerah atau tanah yang mengandung banyak air. Karena itu dalam menanam tanaman bambu air yang terbaik bila ditanam di dekat kolam dan fitur air lainnya. Meskipun demikian, tanaman bambu air bisa di tanam pada tanah yang tidak terendam air, namun memerlukan suplai air atau perlu disiram secara lebih sering.

Ekor kuda beracun bagi ternak dan bahkan dapat membunuh hewan yang memakan jerami terkontaminasi. Kuda, sapi dan domba sangat rentan dan bisa mati dalam beberapa jam setelah memakan ekor kuda dalam jumlah besar. Dalam kepadatan yang tinggi, ekor kuda dapat mengurangi tanaman hasil pertanian dengan memproduksi zat penghambatan yang menekan pertumbuhan tanaman tetangga.



**Gambar 2.13 Bambu Air**

*Sumber: Weed Management Guide, 2003*



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB 3**

### **METODE PERENCANAAN**

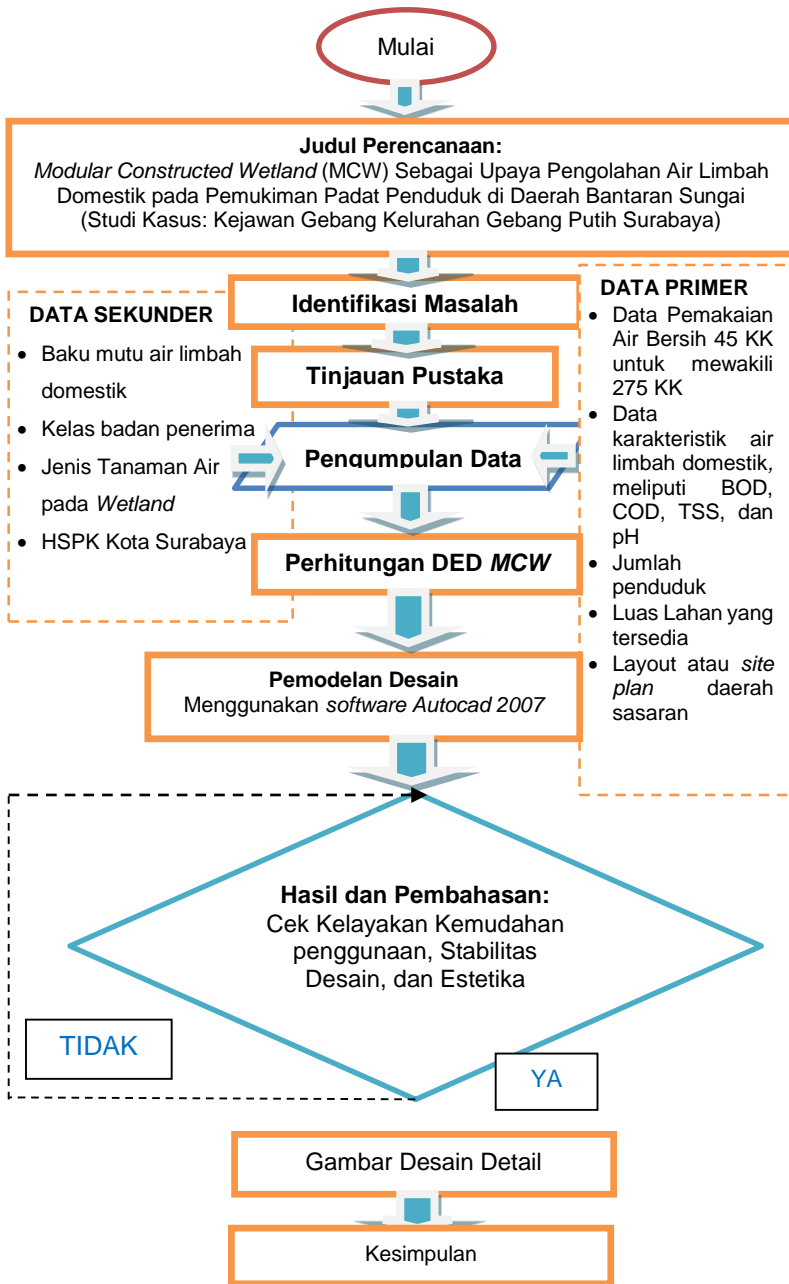
#### **3.1 Pengembangan Alternatif Desain**

Dalam perencanaan ini akan didesain dua tipe *wetland*. Desain pertama merupakan perencanaan *Subsurface Flow Constructed Wetland* (SSFCW), yakni limbah domestik yang ditampung di bak penampung akan dialirkan menuju *subsurface flow constructed wetland* untuk diolah, kemudian air olahan akan masuk ke unit bak kontrol dan selanjutnya dialirkan ke bak pengumpul. Desain ini cocok diaplikasikan pada zona 3. Alasan utama pengaplikasian desain hanya cocok untuk zona 3, adalah luas lahan yang tersedia pada zona 3 cukup untuk perencanaan *constructed wetland* yang pada umumnya membutuhkan lahan yang cukup besar.

Desain kedua merupakan pengembangan dari desain pertama dan akan diaplikasikan untuk Zona 1 dan Zona 2 yang memiliki lahan terbatas. Desain ini merupakan kombinasi dari *wetland* dengan dua arah aliran. Air limbah yang telah ditampung di bak penampung, akan dipompa menuju *constructed wetland stage* pertama untuk difiltrasi menggunakan tanaman hiperakumulator. Kemudian air olahan tersebut akan difiltrasi kembali di *stage* ke dua, begitu seterusnya hingga air olahan memenuhi baku mutu. Dalam desain kedua ini, variasi penggunaan tanaman hiperakumulator dan variasi penggunaan media sangat berpengaruh dalam penentuan efisiensi pengolahan, jumlah *stage*, serta dimensi dari *wetland* itu sendiri.

#### **3.2 Tahapan Perencanaan**

Tahapan perencanaan ini mengikuti kerangka berpikir yang berawal dari masalah rusaknya ekosistem dan daerah aliran sungai Bokor daerah Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya, serta banyaknya pemukiman kumuh di bantaran sungai yang membuang air limbah domestiknya tanpa pengolahan ke badan sungai. Sehingga, kerangka berpikir yang sistematis dan berpedoman pada sumber masalah sangat penting dijelaskan dalam tahapan perencanaan ini. Tahapan ini nantinya sebagai alur desain yang akan dilakukan agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan yang akan dicapai. Tahapan ini dapat dilihat pada Gambar 3.1



**Gambar 3.1 Kerangka Alur Perencanaan**

### 3.3 Rangkaian Kegiatan Perencanaan

Rangkaian kegiatan perencanaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

#### 1. Judul Perencanaan

*Hybrid Constructed Wetland* (HCW) Sebagai Upaya Pengolahan Air Limbah Domestik pada Pemukiman Padat Penduduk di Daerah Bantaran Sungai (Studi Kasus: Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya)

#### 2. Tinjauan Pustaka

Hal ini dilakukan dengan mengumpulkan data yang menunjang perencanaan. Data penunjang yang dibutuhkan meliputi :

1. Baku mutu air limbah
2. Perhitungan debit air limbah
3. Sistem Penyaluran Air Limbah
4. Karakteristik Media Biofiltrasi
5. Unit Pengolahan Air Limbah yang didesain yaitu mengadaptasi dari *Constructed Wetland*
6. Jenis tanaman yang digunakan untuk biofiltrasi

#### 3. Pengumpulan Data

Dalam proses pembuatan desain *Hybrid Constructed Wetland* ini analisis yang teliti sangat diperlukan. Inovasi teknologi *Hybrid Constructed Wetland* ini mengintegrasikan antara parit atau selokan dengan lahan basah terkonstruksi (*Constructed Wetland*). Untuk dapat melakukan analisis diperlukan data / informasi yang lengkap dan terkait dengan model desain dari *Hybrid Constructed Wetland* tersebut. Data yang dikumpulkan meliputi data primer dan data sekunder. Selanjutnya akan dijelaskan tahapan pengumpulan data untuk menunjang perencanaan ini.

##### • Data Primer

1. Karakteristik limbah *grey water* dan *black water* meliputi BOD, COD, TSS, Total N, Total P, dan pH dari hasil analisis laboratorium. Sampel air limbah diambil sebanyak 3 kali yaitu saat Q peak. Analisis sampling ini dilakukan di laboratorium untuk kemudian diketahui nilai dari parameter yang akan masuk pada unit pengolahan.
2. Data pemakaian air bersih oleh 275 KK dengan melakukan survei langsung ke lokasi perencanaan.

Dalam pengumpulan data primer ini, teknik pengumpulan data yang digunakan adalah wawancara dan kuesioner. Wawancara dan kuisisioner dilakukan untuk mengetahui dan mendapatkan informasi, dengan memperhatikan ruang lingkup daerah Kejawan Gebang. Teknik pengumpulan data dengan jalan melakukan pembagian daftar pertanyaan langsung ke objek sehingga data yang dikumpulkan benar-benar sesuai dengan keadaan yang sebenarnya.

Populasi dalam perencanaan ini adalah masyarakat yang tinggal di sekitar daerah Kejawan Gebang. Dalam perencanaan ini direncanakan jumlah rumah yang dilayani sebanyak 275 rumah. Karena keterbatasan waktu dan kondisi, maka tidak semua populasi akan di wawancara, tetapi akan digunakan sampel sebagai generalisasi dari perencanaan. Sampel akan diambil secara random dan besarnya ditentukan dengan rumus:

$$\frac{Z^2 p(1-p)/d^2}{1 + \frac{1}{n} \left( \frac{Z^2 p(p-1)}{d} - 1 \right)} = n$$

Dimana:

n : jumlah sampel responden

N : jumlah anggota populasi (KK)

Z : nilai tabel normal standar (1,96)

D: sampling error (tingkat kesalahan yang diperbolehkan) 10%

P :proporsi yang disetujui, (0,5 – 0,99)

(1-p) :proporsi yang tidak disetujui

$$\frac{1,96^2 \cdot 0,9 (1 - 0,9) / 0,07^2}{1 + \frac{1}{275} \left( \frac{1,96^2 \cdot 0,9 (0,9 - 1)}{0,07} - 1 \right)} = 45 \text{ KK}$$

Kemudian pemilihan rumah yang dijadikan sampel dari daerah Kejawan Gebang menggunakan teknik penarikan sampel acak sistematis

### 3. Jumlah Penduduk

Jumlah penduduk dapat diketahui dari penuturan ketua RT dan warga setempat

### 4. Luas lahan yang tersedia

Luas lahan yang tersedia didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan menggunakan meteran.

5. Debit Limbah Domestik

. Data produksi rata-rata limbah domestik per hari di dapat dari jumlah air yang digunakan warga setempat sewaktu mandi dan cuci.

6. Denah Atau Layout Daerah Sasaran

Didapatkan dari survei secara langsung dengan memetakan rumah-rumah serta jalan yang ada di lokasi sasaran.

- **Data Sekunder**

1. Baku mutu air limbah domestik

Baku mutu *effluent* air limbah disesuaikan dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi kegiatan Industri dan Usaha Lainnya

2. Kelas badan penerima yaitu Kelas IV

Menurut PP Nomor 82 Tahun 2001 pasal 8 , Kelas IV yaitu: Air yang digunakan untuk mengairi tanaman dan peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

3. Harga Satuan Pekerjaan Kegiatan di Surabaya Tahun 2015.

HSPK yang digunakan adalah HSPK terbaru yaitu tahun 2015. Perhitungan volume kegiatan dan rencana anggaran dana dihitung berdasarkan HSPK Kota Surabaya Tahun 2015

4. Jenis Tanaman Air Pada *Wetland*

Jenis tanaman air pada *wetland* diperoleh dari literatur dan penelitian-penelitian yang sudah ada, sehingga dapat dipilih tanaman yang paling sesuai.

**5. Perhitungan *Detail Engineering Design (DED)* HCW**

Untuk proses perhitungan DED dilakukan studi literatur lebih dahulu untuk mendapatkan rumus-rumus serta gambar-gambar sehingga dapat dilakukan perhitungan unit bangunan pengolahan air limbah domestik. Setelah didapatkan rumus

perhitungan, maka perlu diketahui kriteria perencanaan bangunan pengolahan air limbah domestik yang akan digunakan.

#### Kriteria Desain SSF-Constructed Wetland

Kriteria desain yang sangat penting untuk sistem constructed wetland adalah waktu detensi hidrolis, kedalaman basin (panjang dan lebar), laju beban BOD<sub>5</sub>, dan laju beban hidrolis. Rentang tipikal yang disarankan untuk perancangan diberikan pada tabel di bawah ini.

**Tabel 3.1 Panduan Desain Constructed Wetland**

Paramater desain	Unit	Tipe sistem	
		FWS	SFS
<i>Hydraulic detention time</i>	Day	4 – 15	4 – 15
<i>Water depth</i>	ft	0.3 – 2.0	1.0 – 2.5
<i>BOD5 loading rate</i>	lb/acre	< 60	< 60
<i>Hyraulic loading rate</i>	Mgal/acre.d	0.015 – 0.050	0.015 – 0.05
<i>Specific area</i>	Acre/(Mgal/d)	67 – 20	67 – 20

*Sumber : Metcalf & Eddy, 2001*

#### Hydraulic Detention Time

Untuk desain sistem SFS dalam mendapatkan penyisihan BOD, disyaratkan waktu detensi yang dapat diestimasi melalui persamaan orde satu berikut (Metcalf & Eddy, 2001) :

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp (- K_T t') \quad (3-1)$$

Dimana :  $C_e$  = konsentrasi effluen BOD<sub>5</sub>, mg/L

$C_o$  = konsentrasi influen BOD<sub>5</sub>, mg/L

$K_T$  = konstanta ketergantungan pada temperatur, d<sup>-1</sup>

$t'$  didefinisikan sebagai waktu detensi teoretis berdasarkan porositas dari medium (Metcalf & Eddy, 2001) :

$$t' = \frac{L W \alpha d}{Q} \quad (3-2)$$

Dimana :  $t'$  = waktu detensi wilayah pori, d

$L$  = panjang basin, ft

$W$  = lebar basin, ft

$\alpha$  = porositas medium basin

$d$  = kedalaman basin, ft

Waktu detensi aktual  $t$  adalah fungsi dari konduktivitas hidrolis media dan panjang basin, yang dinyatakan oleh persamaan berikut (Metcalf & Eddy, 1991) :

$$t = \frac{L}{k_s S} \quad (3-3)$$

Dimana :  $L$  = panjang basin, ft

$k_s$  = konduktivitas hidrolis, ft<sup>3</sup>/ft<sup>2</sup>.d

$S$  = slope basin, ft/ft

## 6. Pemodelan Desain Unit Pengolahan Air Limbah Domestik

Setelah didapatkan masing-masing dimensi dari bangunan pengolahan maka tahapan selanjutnya adalah menggambar tiap unit bangunan pengolahan air limbah domestik. Tujuan penggambaran unit bangunan pengolahan air limbah domestik untuk memudahkan proses pekerjaan konstruksi. Penggambaran ini dilakukan menggunakan *software* autocad 2007 dengan skala yang telah disesuaikan.

## 7. Hasil dan Pembahasan

Pembahasan data mencakup aspek teknis, estetika, dan aspek finansial.

### A. Aspek Teknis

Aspek teknis dalam hal ini adalah mendesain pengolahan air limbah domestik *Hybrid Constructed Wetland*

Tahapan dalam pengerjaan dapat dilihat sebagai berikut :

- Penentuan debit rata-rata dari data rekening meter air yang sudah diperoleh
- Penentuan debit air limbah berdasarkan debit rata-rata air bersih
- Penentuan kualitas air imbah
- Penentuan debit jam puncak
- Penentuan debit air limbah minimum
- Penentuan slope medan
- Perhitungan *preliminary sizing* HCW
- Penentuan unit-unit pengolahan dalam HCW



- Perhitungan unit *wetland*

Penetapan baku mutu *effluent* air limbah tersebut disesuaikan dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang baku Mutu Limbah Cair bagi kegiatan Industri atau Usaha lainnya. Berikut besaran baku mutu untuk setiap parameter.

- BOD = 30 mg/L
- COD = 50 mg/L
- TSS = 50 mg/L
- pH = 6 – 9
- Total N = 30 mg/L
- Total P = 1 mg/L

#### B. Aspek Finansial

Aspek finansial dalam hal ini yaitu bagaimana cara mendapatkan biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan *Hybrid constructed wetland* dan pemasangannya. Hal ini berdasarkan SNI DT-91 tentang tata cara pekerjaan bangunan dan HSPK Kota Surabaya Tahun 2015.

### 8. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil perencanaan, dihasilkan data yang nantinya akan menjawab tujuan perencanaan, serta dapat disimpulkan kelebihan dari perencanaan ini. Kesimpulan yang didapat adalah menemukan desain rinci *HCW* dalam upaya pengolahan limbah domestik dan menemukan Rencana Anggaran Biaya pembangunan *HCW*. Kesimpulan diharapkan dapat menjadi referensi dalam pembuatan unit sejenis.

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Gambaran Umum Perencanaan

Perencanaan *Hybrid Constructed Wetland (HCW)* sebagai unit terintegrasi dalam pengolahan air limbah domestik ini disusun berdasarkan realita yang ada bahwa aktivitas rumah tangga, terutama pemukiman padat penduduk yang hampir seluruhnya menyalurkan *grey water* dan *effluent* tangki septik ke sungai atau saluran di sekitar permukiman dan lebih tepatnya dibuang ke got depan rumah. Apabila keduanya dialirkan ke selokan/badan air maka akan menyebabkan pengendapan pada selokan atau sungai dan menyebabkan banjir. Oleh sebab itu, diperlukan upaya mempertahankan kualitas air pada sungai/saluran untuk menciptakan suatu inovasi teknologi pengolahan air limbah serta menuju terciptanya *eco-drainage/eco-river* yang ramah lingkungan, mudah dalam proses *maintenance*, dan memberikan estetika bagi kawasan pemukiman padat penduduk. Dengan demikian, perencanaan bangunan pengolahan air limbah domestik pada tugas akhir ini dapat diharapkan menjadi acuan bagi penetapan tipe pengolahan air limbah rumah tangga (*grey* dan *black water*) pada setiap kawasan yang berbeda meskipun dalam penetapan ini masih diperlukan perhitungan daya tampung dan daya dukung untuk masing – masing sungai/saluran perkotaan. Dalam perencanaan ini diambil studi kasus di daerah Kejawan Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya. Berikut batas wilayah Kelurahan Gebang Putih Surabaya **Gambar 4.1**

Kelurahan Gebang Putih, Kecamatan Sukolilo merupakan kelurahan yang terletak di Surabaya Timur dengan ketinggian 7 meter diatas permukaan laut dan berada pada 7,2837 garis lintang (LS) dan 112,7845 garis bujur (BT). Wilayah Kelurahan Gebang Putih ini memiliki sentra perdagangan dan jasa yang cukup banyak.

Kelurahan Gebang Putih mempunyai wilayah seluas  $\pm 1,33$  km<sup>2</sup> dan berbatasan dengan Kecamatan Mulyorejo dan Kelurahan Mulyorejo di sebelah utara, Kelurahan Keputih dan Kecamatan Sukolilo di sebelah timur, Kelurahan Keputih dan Kecamatan Sukolilo di sebelah selatan, dan Kelurahan Manyar dan Kecamatan Mulyorejo di sebelah barat.



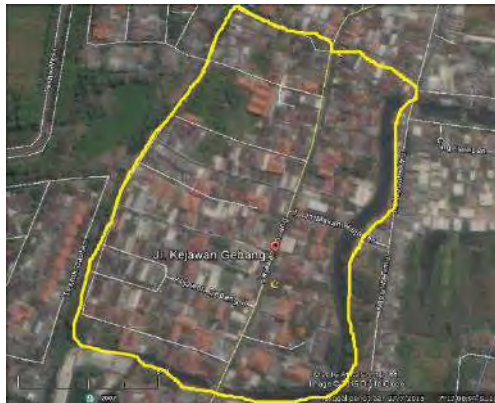
**Gambar 4.1 Garis Oranye (Batas Wilayah Kelurahan Gebang Putih)**

*Sumber: Jurusan PWK, 2016*

Kelurahan Gebang Putih memiliki berbagai macam sarana dan prasarana yang digunakan untuk mendukung segala kegiatan dan kebutuhan penduduknya. Sarana tersebut adalah sarana pendidikan, peribadatan, kesehatan, niaga dan belanja, pemerintah dan pelayanan umum, olahraga, RTH. Dan sarana prasarana tersebut adalah jaringan air bersih, jaringan listrik, drainase, sampah. Selain itu di Kelurahan Gebang Putih memiliki transportasi yang memudahkan penduduk untuk melakukan mobilitas.

Akan tetapi, berdasarkan hasil analisis hasil survei pada Bab 4.3, Kelurahan Gebang Putih tidak memiliki prasarana maupun fasilitas pengolahan air limbah, terutama masyarakat Kejawen Gebang yang tinggal di daerah bantaran sungai. Mayoritas masyarakat Kejawen Gebang membuang limbah domestik berupa *grey water* langsung ke selokan atau kali, bahkan ada beberapa warga yang membuang limbah *black water* langsung ke badan air kali bokor.

Oleh karena itu, teknologi tepat guna berupa Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal (IPAL) perlu diterapkan sebagai upaya mempertahankan kualitas air pada sungai/saluran untuk mencegah kemunculan/pembiakan insekta/penyakit yang disebarkan melalui air (*waterborne disease*), pencegahan penyebaran vektor penyakit pada manusia dan lingkungan sekitarnya serta menuju terciptanya *eco-drainage/eco-river* yang ramah lingkungan, mudah dalam proses *maintenance*, serta peningkatan kualitas dan estetika lingkungan bagi pemukiman padat penduduk. Berikut batas wilayah Kejawen Gebang Kelurahan Gebang Putih Surabaya **Gambar 4.2**



**Gambar 4.2 Wilayah Kejawen Gebang**

*Sumber : Google Earth, 2016*

Dalam perencanaan ini, daerah pelayanan untuk unit pengolahan air limbah dibagi menjadi tiga zona, hal ini berdasarkan luas lahan yang tersedia serta disesuaikan dengan kajian SPAL yang sudah ada.



**Gambar 4.3 Pembagian Zona Kawasan Perencanaan**

Keterangan Gambar: ● Lokasi IPAL



**Gambar 4.4 Grey water dibuang ke kali Kejawan Gebang**



**Gambar 4.5 Sludge yang terbentuk di kali Kejawan Gebang**

Jumlah KK Tiap Zona

- Zona 1= 103 KK
- Zona 2= 91 KK
- Zona 3= 81 kk

## **4.2 Pengumpulan Data**

### **4.2.1 Data Primer**

#### **1. Karakteristik Air Limbah**

Pada tugas akhir ini, untuk mengetahui karakteristik air limbah didapatkan melalui data primer. Data primer diambil dari pipa *effluent* melalui empat titik sampling, yakni pipa *effluent* dari salah satu rumah di kawasan Kejawan Gebang, pipa *effluent* rumah yang memiliki usaha warung makan, *effluent* tangki septik dari salah satu rumah, dan pipa *effluent* dari rumah yang memiliki *home industry laundry*. Keempat sampel air tersebut dihomogenkan untuk kemudian dianalisis laboratorium. Data primer tersebut diambil pada tanggal 3 Maret, 10 Maret, 17 Maret, dan 31 Maret, dan masing-masing diambil pada pukul 09.00-10.00, 10.00-11.00, 09.30-10.30, dan 09.00-10.00. Pengujian *sampling* dilakukan di laboratorium Teknik Lingkungan dan analisis mandiri. Berikut tabel hasil analisis laboratorium.

**Tabel 4.1 Kualitas Air Limbah *Grey Water* dan *Effluent* Tangki Septik**

Parameter	Sampel				Baku Mutu (mg/L)	Sumber
	1	2	3	4		
<b>TSS (mg/L)</b>	200	310	240	264	50	Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 / 2013 (hlm 39)
<b>BOD (mg/L)</b>	192	386	381	126	30	Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 / 2013 (hlm 39)
<b>COD (mg/L)</b>	970	823	424	202	50	Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 / 2013 (hlm 39)
<b>Total Nitrogen (mg/L)</b>	-	-	-	136	30	Peraturan Menteri Lingkungan hidup no. 5 tahun 2014 (hlm 81)
<b>Total Phosphorus (mg/L)</b>	-	-	-	12.4	1	PP no 82 tahun 2001 (lampiran hlm 1)

Dari data di atas, terdapat beberapa data yang nilainya tidak konsisten dan terlalu jauh dari nilai parameter limbah *grey water* pada umumnya. Hal ini terjadi karena kesalahan sampling, yakni pengambilan air sampel pada rumah dengan *home industry laundry* yang tidak melalui saluran atau pencampuran air cucian laundry dengan *grey water*, melainkan langsung dari air keluaran cucian laundry. Oleh karena itu, dilakukan pengampilan sampel untuk keempat kalinya, dan dilakukan analisis laboratorium dengan bantuan laboran. Data hasil analisis tersebut nantinya digunakan sebagai acuan nilai kualitas air limbah.

2. Data Pemakaian Air Bersih dari jumlah KK tiap kawasan

Data rata-rata pemakaian air bersih tiap kawasan diperoleh melalui survei secara langsung ke lokasi perencanaan. Dalam perencanaan ini Kawasan Kejawan Gebang dibagi menjadi 3 Zona. Zona 1 meliputi masyarakat Kejawan Gebang Gang Makam, Gang Family, Gang 5 Buntu, Gang 8 A, Gang 9, Gang10. Zona 2 meliputi masyarakat Kejawan Gebang Gang 1, Gang 2, Gang 3, Gang 4. Zona 3 meliputi masyarakat Kejawan Gebang 5, Gang 6,

Gang 7, Gang 8. Dalam perencanaan ini, tidak semua populasi masyarakat atau penduduk di wawancara, tetapi digunakan sampel sebagai generalisasi dari perencanaan. Sampel diambil secara random dan besarnya ditentukan dengan rumus statistika. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan error 7%, sehingga diperoleh jumlah sampel dalam 1 RW yakni sebanyak 45 KK dari total 275 KK.

**Untuk Zona 1:**

Jumlah KK = 103 KK

$$= \frac{103}{275} \times 45$$

$$= 16,85$$

$$= 16 \text{ KK}$$

**Untuk Zona 2:**

Jumlah KK = 91 KK

$$= \frac{91}{275} \times 45$$

$$= 14,89$$

$$= 15 \text{ KK}$$

**Untuk Zona 3:**

Jumlah KK = 81 KK

$$= \frac{81}{275} \times 45$$

$$= 13,25$$

$$= 14 \text{ KK}$$

**4.2.2 Data Sekunder**

1. Kelas Badan Penerima yaitu Kelas IV

Menurut PP Nomor 82 Tahun 2001 pasal 8, Kelas IV yaitu: Air yang digunakan untuk mengairi tanaman dan peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.



**Tabel 4.2 Baku Mutu Kelas IV**

Parameter	Baku Mutu Kelas IV (mg/L)
TSS	400
BOD	12
COD	100

*Sumber: PP Nomor 82 Tahun 2001*

#### **4.3 Analisis Hasil Survei**

Survei pada kegiatan ini mencakup survei mengenai jumlah penggunaan air bersih serta kondisi eksisting masyarakat terkait aktivitas yang menghasilkan air limbah dan pengolahannya. Survei ini nantinya untuk mengetahui data primer yang diinginkan serta justifikasi rencana perencanaan dan pembangunan IPAL di Kawasan Kejawan Gebang. Kuesioner ditujukan untuk masyarakat Kejawan Gebang sesuai jumlah sampling pada masing-masing zona. Pengisian kuesioner dilakukan dengan metode wawancara kepada masing-masing kepala keluarga atau yang mewakili. Kuesioner pertama mengenai jumlah air bersih yang digunakan masyarakat selama tiga bulan terakhir. Penentuannya dilakukan dengan cara menjumlahkan total data selama satu bulan kemudian dibagi dengan jumlah responden pada tiap bulan tersebut, dan didapatkan dari ketiga bulan tersebut rata-rata debit air bersih yang digunakan oleh warga Kejawan Gebang. Data rata-rata tersebut digunakan sebagai acuan dalam pemenuhan kebutuhan air bersih per hari. Kebutuhan air bersih rata-rata tiap KK adalah sebesar 18 m<sup>3</sup>/bulan, dengan rata-rata jumlah anggota keluarga sebanyak 4 orang, maka diperoleh debit air bersih rata-rata sebesar 150 L/orang/hari. Hasil ini sesuai dengan kebutuhan air oleh Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, bahwa kebutuhan air untuk Kota Metropolitan, dalam hal ini wilayah perencanaan adalah Kota Surabaya adalah sebesar 150 L/orang/hari.

Data debit air bersih tersebut dipakai sebagai acuan debit air bersih per orang per hari yang akan digunakan untuk menentukan debit perencanaan. Dari pengambilan sampel

masing-masing zona didapatkan jumlah orang adalah sebagai berikut:

- Zona 1=16 KK= 87 orang
- Zona 2= 15 KK=77 orang
- Zona 3= 14 KK=74 orang

Dengan menggunakan metode perbandingan, hasil sampel di atas digunakan untuk menentukan jumlah orang dalam masing-masing zona. Berikut jumlah orang hasil perbandingan:

- Zona 1= 103 KK= 560 orang
- Zona 2= 91 KK= 467 orang
- Zona 3= 81 KK= 428 orang

Dengan mengalikan jumlah orang dengan jumlah pemakaian air bersih rata-rata, maka diperoleh debit sebagai berikut:

Zona 1= 560 orang x 150 L/orang/hari = 84.000 L/ hari

Zona 2= 467 orang x 150 L/orang/hari = 70.050 L/ hari

Zona 3= 428 orang x 150 L/orang/hari = 64.200 L/ hari

Air limbah yang dihasilkan diasumsikan sebesar 80% dari air bersih, maka debit air limbah adalah sebagai berikut:

Zona 1= 84.000 L/ hari x 80%= 67.200 L/ hari

Zona 2= 70.050 L/ hari x 80% = 56.040 L/ hari

Zona 3= 64.200 L/ hari x 80% = 51.360 L/ hari

Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk mengetahui Debit air limbah puncak ( $Q_{peak}$ ) dan Debit air limbah minimum ( $Q_{min}$ ). Berikut contoh perhitungan  $Q_{peak}$  dan  $Q_{min}$ .

#### Zona 1:

Jumlah Penduduk = 560 orang

Q air limbah = 67.200 L/ hari

$$\begin{aligned} f_{peak} &= (18+(P^{0,5})) / (4+(P^{0,5})) \\ &= (18+(560^{0,5})) / (4+(560^{0,5})) \\ &= 1,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{peak air limbah}} &= Q_{\text{air limbah}} \times f_{\text{peak}} \\
 &= 67.200 \text{ L/ hari} \times 1,5 \\
 &= 101.208 \text{ L/ hari} \\
 Q_{\text{min air limbah}} &= 0,2 / (P^{1/16}) \times Q_{\text{air limbah}} \\
 &= 0,2 / (560^{1/16}) \times 67.200 \text{ L/ hari} \\
 &= 144 \text{ L/ hari}
 \end{aligned}$$

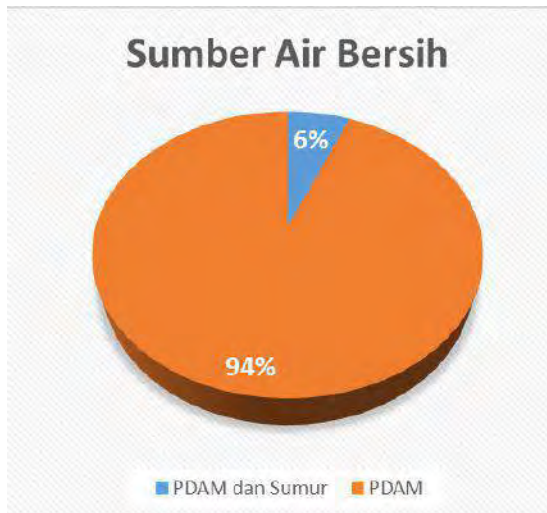
Perhitungan debit untuk masing-masing zona dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

**Tabel 4.3 Debit Masing-masing Zona**

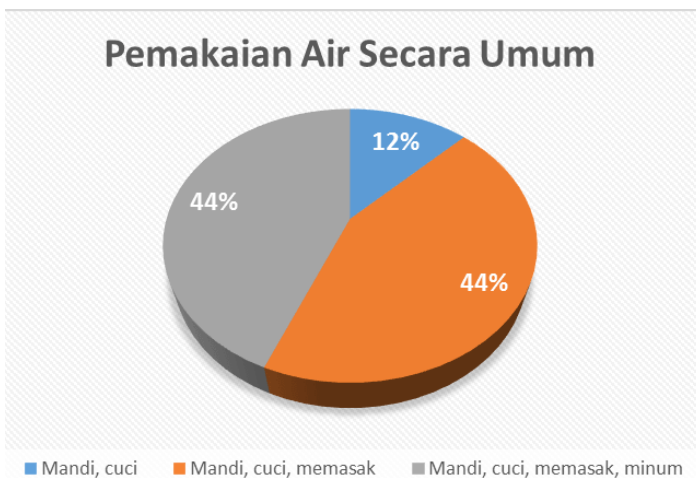
Zona	Jumlah Penduduk	Debit air limbah ) (L/ hari)	F peak	Q peak (L/hari)	Q min (L/hari)	Q peak (m³/hari)	Q min (m³/hari)
	A	B	$C = (18 + A^{0,5}) / (4 + A^{0,5})$	$D = B \times C$	$E = 0,2 / (A^{1,6}) \times B$	$F = D / 1000$	$G = E / 1000$
Zona 1	560	67.200	1,5	101.208	144	101	0,1
Zona 2	467	56.040	1,5	86.675	144	87	0,1
zona 3	428	51.360	1,6	80.485	144	80	0,1

Kuesioner selanjutnya ditujukan untuk mengetahui kondisi eksisting daerah sasaran terkait air limbah serta justifikasi kawasan terkait perencanaan IPAL. Hasil kuesioner disajikan dalam diagram berikut:

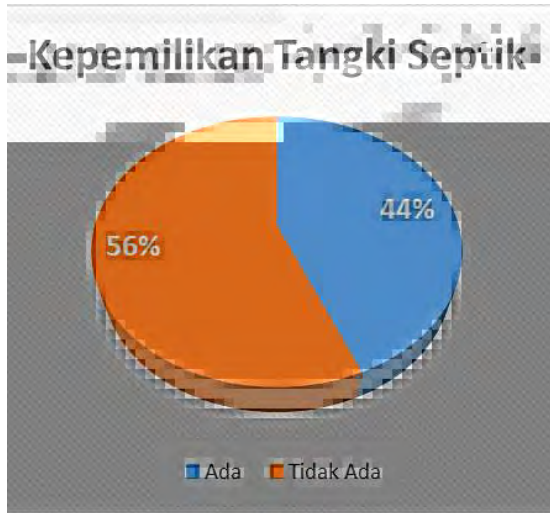
## Zona 1



**Gambar 4.6 Hasil Survei di 16 KK pada Zona 1 Terkait Sumber Air Bersih**



**Gambar 4.7 Hasil Survei di 16 KK pada Zona 1  
Terkait Pemakaian Air Secara Umum**



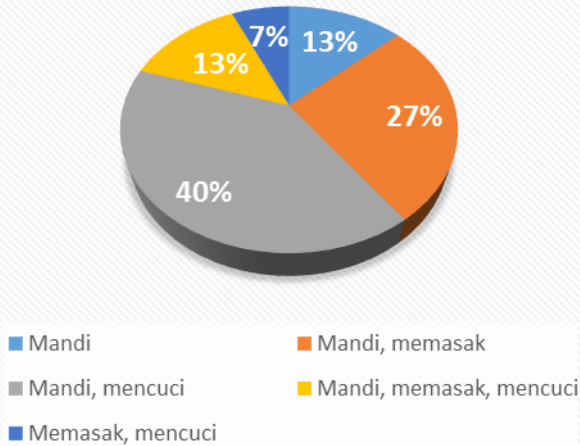
**Gambar 4.8 Hasil Survei di 16 KK pada Zona 1 terkait Kepemilikan Tangki Septik**

## **Zona 2**



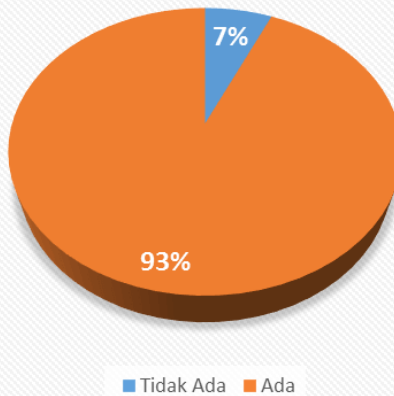
**Gambar 4.9 Hasil Survei di 15 KK pada Zona 2 terkait Sumber Air Bersih**

## Penggunaan Air Secara Umum



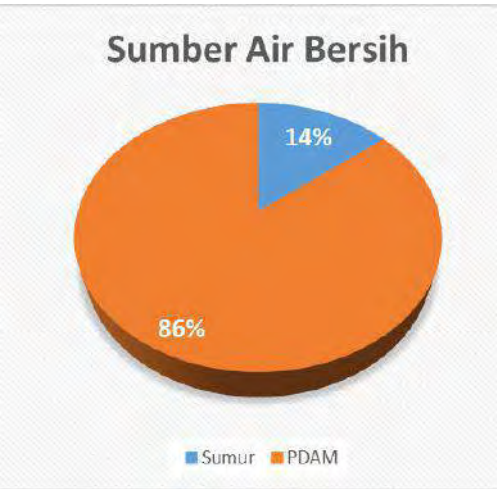
**Gambar 4.10 Hasil Survei di 15 KK pada Zona 2 Terkait Pemakaian Air Secara Umum**

## Kepemilikan Tangki Septik

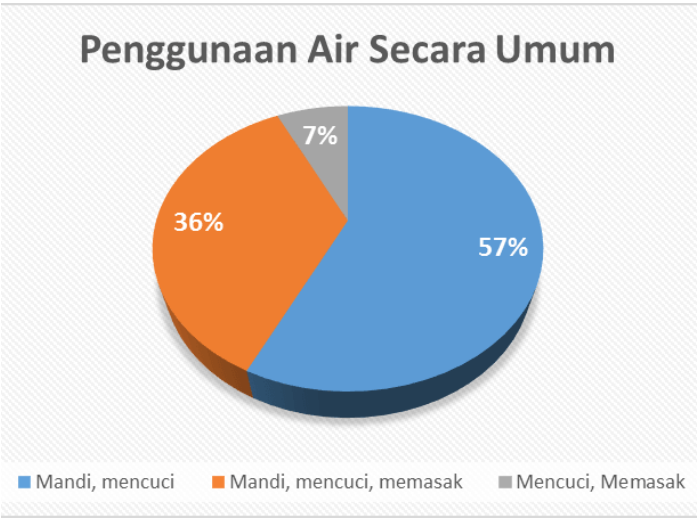


**Gambar 4.11 Hasil Survei di 15 KK pada Zona 2 terkait Kepemilikan Tangki Septik**

**Zona 3**



**Gambar 4.12 Hasil Survei di 14 KK pada Zona 3 terkait Sumber Air Bersih**



**Gambar 4.13 Hasil Survei di 14 KK pada Zona 3 terkait Pemakaian Air Secara Umum**



**Gambar 4.14 Hasil Survei di 14 KK pada Zona 3 terkait Kepemilikan tangki Septik**

Kesimpulan dari hasil kuesioner di atas adalah sebagai berikut:

Mayoritas masyarakat Kejawan Gebang telah terlayani PDAM, terutama di Zona 2 yang telah mencapai 100% disusul Zona 1 sebesar 94%, dan Zona 3 sebesar 86%, sementara lainnya masih menggunakan sumur. Untuk pemakaian air PDAM sendiri bervariasi, pada umumnya masyarakat Kejawan Gebang menggunakan air PDAM untuk mandi dan cuci, untuk mandi, cuci, minum, serta untuk mandi, cuci, minum, masak. Sementara untuk kepemilikan tangki septik Zona 2 93% masyarakatnya telah memiliki tangki septik, disusul Zona 3 sebesar 71%, dan Zona 1 sebesar 56%.

#### **4.4 Instalasi Pengolahan Air Limbah**

Instalasi pengolahan air limbah yang digunakan dalam perencanaan ini adalah instalasi pengolah limbah cair biologis atau *constructed wetland*. Instalasi ini merupakan instalasi pengolah limbah cair buatan yang dirancang dan dibuat berupa kolam atau

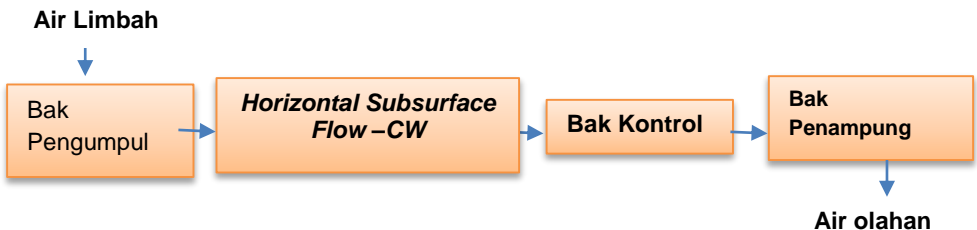


saluran yang ditanami oleh tumbuhan-tumbuhan air dan proses penjernihan limbah cair dilakukan secara biologis dengan bantuan mikroorganisme, proses fisika, dan kimia. Instalasi ini dirancang seperti proses penjernihan limbah cair yang ada di alam, tetapi dengan lingkungan yang dapat dikendalikan. Instalasi ini menggunakan tanah liat dan lapisan plastik sintetis pada bagian dasar dari *filter bed* serta menggunakan struktur tertentu untuk mengontrol arah aliran, waktu tinggal, dan tinggi muka air.

Dalam perencanaan ini digunakan dua sistem *constructed wetland*, yakni sistem *horizontal sub surface flow constructed wetland* dan sistem *Hybrid sub surface flow constructed wetland*. Berikut penjelasan untuk masing masing sistem.

#### ***Sistem Horizontal -Sub Surface FlowConstructed Wetland:***

Sistem ini direncanakan untuk diterapkan pada zona tiga yang memiliki luas lahan tersedia yang cukup besar. Berikut skema pengolahan air limbah pada zona 3:

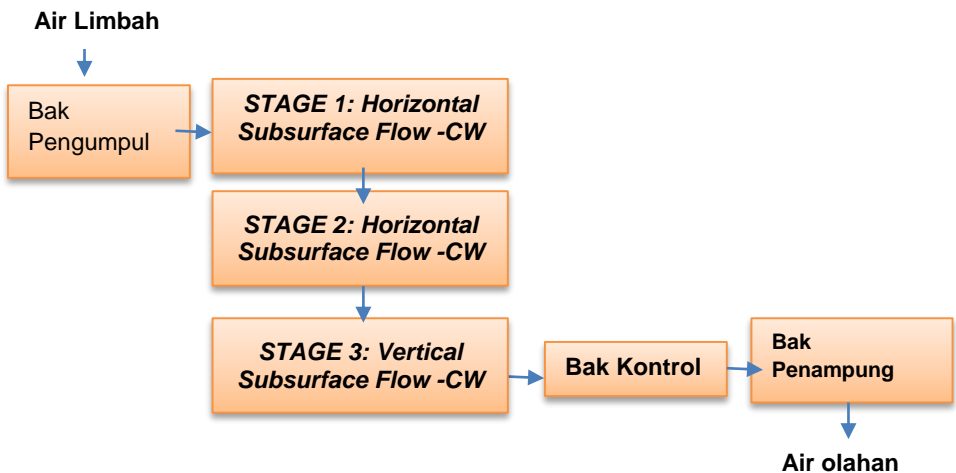


**Gambar 4.15 Skema Pengolahan Air Limbah Zona 3**

#### ***Sistem Hybrid Constructed Wetland (HCW):***

Jenis *Constructed Wetland* yang berbeda-beda dapat dikombinasikan untuk mencapai efisiensi removal yang lebih tinggi dengan menggunakan keuntungan dari sistem individu atau biasa dinamakan *Hybrid System*. *Hybrid Constructed Wetland (HCW)* menggabungkan penyaringan dengan arah aliran vertikal (*Vertical Flow-Sub Surface Constructed Wetland*) dengan horizontal

(*Horizontal Flow-Sub Surface Constructed Wetland*), untuk dapat mencapai effluen air limbah yang memenuhi baku mutu. Selain itu, variasi penggunaan media dan kombinasi tanaman juga direncanakan, agar luas area HCW dapat memenuhi luas area pada Zona 1 dan Zona 2 yang tergolong terbatas. Berikut skema pengolahan air limbah pada Zona 1 dan Zona 2.



**Gambar 4.16 Skema pengolahan Air Limbah Zona 1 dan 2**

*Hybrid System* atau *Combined System* pertama kali dikembangkan oleh Seidel di Max Planck Institute (Jerman). Desain terdiri dari dua tahap beberapa paralel tidur aliran vertikal (biasanya ditanami *australis Phragmites*), diikuti oleh dua atau tiga tempat tidur horizontal (ditanam *Typha* atau *Carex*).

#### **4.5 Perhitungan Detail Engineering Desain (DED)**

Berikut perhitungan DED untuk masing-masing bangunan

##### **4.5.1 Bak Pengumpul:**

Bak pengumpul berfungsi sebagai bak penampung sementara air sebelum dipompa menuju bangunan selanjutnya. Penggunaan bak pengumpul ditujukan untuk beberapa hal yaitu, menampung air buangan dari saluran pembawa atau sewer yang

kedalamannya di bawah permukaan instalasi pengolahan sebelum air dipompa ke atas. Bak pengumpul dapat menstabilkan variasi debit dan konsentrasi air buangan yang akan masuk ke bangunan pengolah air (unit instalasi induk air buangan), sehingga tidak terjadi *shock loading* saat pengolahan.

Karena bak pengumpul hanya sebagai bak penampung sementara, maka waktu detensi di bak pengumpul ini relatif singkat. Dalam membuat desain bak pengumpul, beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu dimensi pipa sewer yang masuk ke bak pengumpul dan dimensi pompa yang digunakan. Berikut perhitungan dimensi Bak Pengumpul untuk masing-masing zona

#### A. Zona 1

Direncanakan:

- Bak berbentuk segiempat
- Jumlah Bak =1
- Waktu Detensi/  $t_d$  ( $<10$  menit) = 3 menit = 180 detik
- Kedalaman (H) = 0,5 m
- P:L = 2: 1
- $Q_{peak} = 101.208 \text{ L/hari} = 101,2 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,0012 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $Q_{ave} = 67.200 \text{ L/hari} = 67,2 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,0008 \text{ m}^3/\text{detik}$

Maka,

$$\text{Volume (V)} = Q_{peak} \times T_d = (0,0012 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 3 \text{ menit} \\ = 0,2 \text{ m}^3$$

$$\text{Lebar (l)} = (V/H)^{0,5} = (0,2 \text{ m}^3/0,5 \text{ m})^{0,5} \\ = 0,45 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (P)} = 2 \times \text{lebar} = 2 \times 0,45 \text{ m} = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A)} = P \times l = 0,9 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Cek } T_d = V/Q_{peak} = 0,2 \text{ m}^3/(0,1 \text{ m}^3/\text{menit}) = 3 \text{ menit}$$

$$\text{H air saat } Q_{ave} = Q_{ave} \times T_d/A \\ = (0,0008 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 3 \text{ menit} / 0,5 \text{ m}^2 \\ = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{H air saat } Q_{peak} = Q_{peak} \times T_d/A \\ = (0,0012 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60 \times 3 \text{ menit} / 0,5 \text{ m}^2 \\ = 0,4 \text{ m}$$

Sehingga, diperoleh dimensi sebagai berikut:

$$\text{Panjang (P)} = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (l)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman (H)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard (Fb)} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Total H} = 0,8 \text{ m}$$

Untuk memudahkan proses operasi dan pemeliharaan pompa serta pembersihan maupun pengurasan dari bak pengumpul, maka dimensi yang digunakan direncanakan dua kali lebih besar dari dimensi hasil perhitungan, sehingga dimensi yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{Panjang (P)} = 1,8 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (l)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman (H)} = 1,6 \text{ m}$$

#### B. Zona 2

Direncanakan:

- Bak berbentuk segiempat
- Jumlah Bak = 1
- Waktu Detensi/ td (<10 menit) = 3 menit = 180 detik
- Kedalaman (H) = 0,5 m
- P:L = 2: 1
- $Q_{\text{peak}} = 86.675 \text{ L/hari} = 86,7 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,001 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $Q_{\text{ave}} = 56.040 \text{ L/hari} = 56 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,0006 \text{ m}^3/\text{detik}$

Maka,

$$\text{Volume (V)} = Q_{\text{peak}} \times T_d = (0,001 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 3 \text{ menit} = 0,18 \text{ m}^3$$

$$\text{Lebar (l)} = (V/H)^{0,5} = (0,2 \text{ m}^3/0,5 \text{ m})^{0,5} = 0,42 \text{ m} \approx 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (P)} = 2 \times \text{lebar} = 2 \times 0,45 \text{ m} = 0,85 \text{ m} \approx 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A)} = P \times l = 0,9 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,36 \text{ m}^2$$

$$\text{Cek } T_d = V/Q_{\text{peak}} = 0,18 \text{ m}^3/(0,06 \text{ m}^3/\text{menit}) = 3 \text{ menit}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{\text{ave}} &= Q_{\text{ave}} \times T_d/A \\ &= (0,0006 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 3 \text{ menit} / 0,36 \text{ m}^2 \\ &= 0,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{\text{peak}} &= Q_{\text{peak}} \times T_d/A \\ &= (0,001 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60 \times 3 \text{ menit} / 0,36 \text{ m}^2 \\ &= 0,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga, diperoleh dimensi sebagai berikut:

$$\text{Panjang (P)} = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (l)} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman (H)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard (Fb)} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Total H} = 0,8 \text{ m}$$

Untuk memudahkan proses operasi dan pemeliharaan pompa serta pembersihan maupun pengurasan dari bak pengumpul, maka dimensi yang digunakan direncanakan dua kali lebih besar dari dimensi hasil perhitungan, sehingga dimensi yang digunakan sebagai berikut:

Panjang (P) = 1,8 m  
 Lebar (l) = 0,8 m  $\approx$  1 m  
 Kedalaman (H) = 1,6 m

### C. Zona 3

Direncanakan:

- Bak berbentuk segiempat
- Jumlah Bak =1
- Waktu Detensi/ td (<10 menit) = 3 menit = 180 detik
- Kedalaman (H) = 0,5 m
- P:L = 2: 1
- $Q_{\text{peak}} = 80.485 \text{ L/hari} = 80,5 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,001 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $Q_{\text{ave}} = 51.360 \text{ L/hari} = 51,4 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,0006 \text{ m}^3/\text{detik}$

Maka,

$$\text{Volume (V)} = Q_{\text{peak}} \times T_d = (0,001 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 3 \text{ menit} = 0,18 \text{ m}^3$$

$$\text{Lebar (l)} = (V/H)^{0,5} = (0,2 \text{ m}^3/0,5 \text{ m})^{0,5} = 0,42 \text{ m} \approx 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (P)} = 2 \times \text{lebar} = 2 \times 0,45 \text{ m} = 0,85 \text{ m} \approx 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A)} = P \times l = 0,9 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,36 \text{ m}^2$$

$$\text{Cek } T_d = V/Q_{\text{peak}} = 0,18 \text{ m}^3/(0,06 \text{ m}^3/\text{menit}) = 3 \text{ menit}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{\text{ave}} &= Q_{\text{ave}} \times T_d/A \\ &= (0,0006 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 3 \text{ menit} / 0,36 \text{ m}^2 \\ &= 0,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{\text{peak}} &= Q_{\text{peak}} \times T_d/A \\ &= (0,001 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60 \times 3 \text{ menit} / 0,36 \text{ m}^2 \\ &= 0,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga, diperoleh dimensi sebagai berikut:

Panjang (P) = 0,9 m  
 Lebar (l) = 0,4 m  
 Kedalaman (H) = 0,5 m  
 Freeboard (Fb) = 0,3 m  
 Total H = 0,8 m

Untuk memudahkan proses operasi dan pemeliharaan pompa serta pembersihan maupun pengurasan dari bak pengumpul,

maka dimensi yang digunakan direncanakan dua kali lebih besar dari dimensi hasil perhitungan, sehingga dimensi yang digunakan sebagai berikut:

Panjang (P) = 1,8 m  
 Lebar (l) = 0,8 m  $\approx$  1 m  
 Kedalaman (H) = 1,6 m

#### 4.5.2 Perencanaan Pompa

Perencanaan pompa untuk Zona 1, Zona 2, dan Zona 3 disesuaikan dengan debit rata-rata terbesar yakni 0,0008 m<sup>3</sup>/detik.

Kecepatan pada saluran air limbah diasumsikan = 1 m/detik. Kecepatan ini didasarkan pada kemampuan pengaliran untuk memberikan daya pembilasan sendiri saluran tersebut terhadap endapan-endapan. Kecepatan minimum yang biasa digunakan dalam perencanaan penyaluran air limbah adalah 0,5 m/dt. Disamping itu juga terdapat kecepatan minimum menurut kebutuhannya, misalnya :

- Untuk mencegah terjadinya endapan organik maka digunakan kecepatan minimum 0,3 m/dt.
- Untuk mencegah pengendapan partikel mineral seperti pasir dan kerikil digunakan kecepatan minimum 0,75 m/dt.
- Untuk saluran air limbah yang tertekan dimana pembersihan adalah sulit dilaksanakan digunakan kecepatan minimum yang digunakan adalah 1,0 m/dt. Berikut perhitungan dimensi pompa:

$$\begin{aligned} \text{Qtia pompa} &= Q \text{ rata-rata} / V \text{ asumsi} \\ &= (0,0008 \text{ m}^3/\text{detik}) / (1 \text{ m/detik}) \\ &= 0,0008 \text{ m}^3/\text{detik} = 67,2 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,8 \text{ l/detik} \\ \text{Diameter} &= ((4 \times Q \text{ pompa}) / (2 \times 3,14))^{0,5} \\ &= ((4 \times 0,0008 \text{ m}^3/\text{detik}) / (2 \times 3,14))^{0,5} \\ &= 0,022 \text{ m} = 2,2 \text{ cm} \approx 1 \text{ m} = 1/2'' \end{aligned}$$

Selanjutnya, pemilihan pompa didasarkan pada debit dan head total pompa.

- Perhitungan Head Total Pompa  
 Perhitungan head total pompa menggunakan rumus:

$$H = H_s + \Delta H_p + \frac{v^2}{2g}$$

Nilai V atau kecepatan  $j = 0.1$  m/detik, disesuaikan dengan V asumsi pada perhitungan dimensi pompa.

- Head Statik ( $H_s$ )  
Head statik adalah perbedaan tinggi antara muka air di sisi keluar dan sisi isap pompa, (Tahara, 2000)  
Head statik yang direncanakan:  
 $H_s = \text{kedalaman total} = (0,5 + 0,3) \text{ m} \times 2 = 1,6 \text{ m}$
- Pressure Head ( $\Delta H_p$ )  
Pressure Head adalah perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air, ((Tahara, 2000). Tekanan di permukaan dianggap sama ( $\Delta H_p=0$ ) (Tahara, 2000)
- Head Mayor  
Head mayor adalah berbagai kerugian head di sepanjang pipa, (Tahara, 2000)  

$$hf = \left[ \frac{Q}{0,00155 \text{ CD}^{2,63}} \right]^{1,85} L$$

$$hf = \left[ \frac{0,8 \text{ L/detik}}{0,00155 (130)(0,05)^{2,63}} \right]^{1,85} 10$$

$$hf = 8,4 \times 10^{-6} \text{ m}$$
- Head Minor  
Head minor adalah berbagai kerugian head akibat katup, belokan, sambungan, dan lain-lain, (Tahara, 2000). Head minor yang terjadi adalah akibat belokan  $90^\circ$ , akibat gate valve, check valve, percabangan, dan pembesaran penampang pipa.  
 -Head minor akibat belokan  $90^\circ$   
 Head minor akibat belokan  $90^\circ$  terjadi sebanyak tiga kali, nilai k pada belokan  $90^\circ$  yaitu 1,5 (Ningrum, 2008)  

$$hf = n \left[ k \frac{v^2}{2g} \right]$$

$$hf = 3 \left[ 1,5 \frac{1^2}{2(9,81)} \right]$$

$$hf = 0,23 \text{ m}$$
 -Head minor akibat gate valve  
 Head minor akibat gate valve terjadi sebanyak satu kali dengan nilai  $k = 0,15$  (Ningrum, 2008)

$$hf = n \left[ k \frac{v^2}{2g} \right]$$

$$hf = 1 \left[ 0,15 \frac{1^2}{2(9,81)} \right]$$

$$hf = 0,08 \text{ m}$$

-Head minor akibat check valve

Head minor akibat check valve terjadi sebanyak satu kali dengan nilai  $k = 1,7$  (Ningrum, 2008)

$$hf = n \left[ k \frac{v^2}{2g} \right]$$

$$hf = 1 \left[ 1,7 \frac{1^2}{2(9,81)} \right]$$

$$hf = 0,087 \text{ m}$$

-Head minor akibat percabangan

Nilai  $f$  untuk head minor akibat percabangan dengan nilai  $Q_2/Q_1 = 0,5$  adalah 0,96 (Tahara, 2000).

Perhitungan  $hf_{1-2}$  :

$$hf_{1-2} = f \left[ \frac{v^2}{2g} \right]$$

$$hf_{1-2} = 0,96 \frac{1^2}{2(9,81)}$$

$$hf_{1-2} = 0,049 \text{ m}$$

nilai  $f$  untuk head minor akibat percabangan dengan nilai  $Q_1/Q_3 = 0,1$  adalah 0,96 (Tahara, 2000)

Perhitungan  $hf_{1-3}$ :

$$hf_{1-3} = f \left[ \frac{v^2}{2g} \right]$$

$$hf_{1-3} = 0,96 \frac{1^2}{2(9,81)}$$

$$hf_{1-3} = 0,049 \text{ m}$$

Head minor akibat percabangan

$$= hf_{1-2} + hf_{1-3}$$

$$= 0,049 \text{ m} + 0,049 \text{ m}$$

$$= 0,098 \text{ m}$$

- Head minor akibat pembesaran penampang pipa

Perhitungan head minor akibat pembesaran penampang pipa:



$$hf = f \left[ \frac{V_1 - V_2^2}{2g} \right]$$

nilai  $f = 1$  (Tahara, 2001)

nilai  $V_1$  adalah nilai kecepatan yang terjadi di pipa discharge pompa.

Nilai  $V_2$  adalah nilai kecepatan yang terjadi di pipa inlet  
*Subsurface Flow Constructed Wetland*

#### Perhitungan $V_1$

Diketahui diameter pipa discharge pada pompa yaitu 1 inchi = 0,025 m

$$Q = V \cdot A$$

$$Q = V \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d^2$$

$$V = \frac{4Q}{\pi \cdot d^2}$$

$$V = \frac{4 \cdot 0,0008}{3,14 \cdot (0,025)^2}$$

$$V = 1,6 \text{ m/detik}$$

- Perhitungan head minor akibat pembesaran penampang pipa:

$$hf = f \left[ \frac{V_1 - V_2^2}{2g} \right]$$

$$hf = 1 \left[ \frac{1,6 - 1^2}{2 \cdot 9,81} \right]$$

$$hf = 0,03 \text{ m}$$

- Perhitungan head minor total

Head Total = Head minor akibat belokan  $90^\circ$  + head minor akibat gate valve + head minor akibat check valve + head minor akibat percabangan + head minor akibat pembesaran penampang pipa

$$\text{Head Total} = (0,23 + 0,008 + 0,087 + 0,098 + 0,03) \text{ m}$$

$$= 0,45 \text{ m}$$

- H sisa tekan

H sisa tekan diasumsikan 0,5 m

- **Perhitungan Head Total Pompa**

$$H = H_s + \Delta H_p + H_{mayor} + H_{minor} + \frac{v^2}{2g} + H \text{ sisa tekan}$$

$$H = 1,6 + 0 + 8,4 \times 10^{-6} + 0,45 + \frac{1}{2 \times 9,81} + 0,5$$

$$H = 2,6 \text{ m}$$

- **Perhitungan daya pompa**

Perhitungan daya pompa menggunakan rumus:

$$P_w = (\gamma * Q * H) 0,163$$

$$P = \frac{P_w}{\eta_p}$$

Dimana:

$P_w$  = daya air (Kw)

$\gamma$  = berat air per satuan volume (Kg/liter)

$Q$  = debit air (m<sup>3</sup>/menit)

$H$  = head total pompa (m)

$P$  = daya poros pompa (Kw)

$\eta_p$  = efisiensi pompa = 40% (Tahara, 2000)

$\eta_p$  = 0,4

- **Perhitungan daya air**

$$P_w = (\gamma * Q * H) 0,163$$

$$P_w = (0,995 * 0,1 * 2,6) 0,163$$

$$P_w = 0,03 \text{ Kw}$$

- **Perhitungan daya poros**

$$P = \frac{P_w}{\eta_p}$$

$$P = \frac{0,03}{0,4}$$

$$P = 0,07 \text{ Kw}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka dipilih pompa dengan spesifikasi sebagai berikut:

Jenis pompa : Pompa *submersible*

Merk: Firman

Tipe : FSP-403P

#### 4.5.3 Pipa *Inlet* dan *Outlet Subsurface Flow Constructed Wetland*

Pipa *Inlet* dan *outlet Subsurface Flow Constructed Wetland* direncanakan untuk mengalirkan air terolah dari antar *stage Subsurface Flow Constructed Wetland* ke *stage* selanjutnya, serta mengalirkan air terolah dari *stage* terakhir ke bak penampung. Diketahui debit air limbahnya yaitu 0,001 m<sup>3</sup>/detik dan panjang pipa *inlet* serta *outlet Subsurface Flow Constructed Wetland* adalah 20 cm. Berikut perhitungan diameter *Pipa Inlet* dan *outlet Subsurface Flow Constructed Wetland* (Tahara, 2000).

$$hf = \left[ \frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L$$

$$S \times L = \left[ \frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L$$

Dimana:

- Hf = kerugian head (m)
- Q = laju aliran (m<sup>3</sup>/detik)
- C = Koefisien
- D = Diameter pipa (m)
- L = Panjang pipa (m)
- S = Gradien Hidrolik (S=Hf/L)

$$S \times L = \left[ \frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L$$

$$0,005 \times 0,2 = \left[ \frac{0,001}{0,2785 \times 130 \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L$$

$$0,001 \times D^{4,85} = 3 \times 10^{-9}$$

$$D = 0,073 \text{ m}$$

Diameter pipa mengikuti diameter di pasaran 76 mm = 2-1/2 ". (2,5 inci). Direncanakan diameter seluruh pipa *inlet* dan *outlet* antar unit dan antar *stage Subsurface Flow Constructed Wetland* sama.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan kecepatan di pipa *inlet-outlet Subsurface Flow Constructed Wetland*.

$$Q = V \times A$$

$$Q = V \times \frac{1}{4} \pi \times D^2$$

$$V = \frac{4Q}{\pi \times D^2}$$

$$V = \frac{4 \times 0,001}{3,14 \times 0,076^2}$$

$$V = 0,2 \text{ m/detik}$$

#### **4.5.4 Subsurface Flow Constructed Wetland**

Perhitungan DED *Subsurface Flow Constructed Wetland* dilakukan untuk masing-masing zona. Untuk Zona 1 dan Zona dua digunakan desain *Hybrid Constructed Wetland*, sementara untuk Zona 3 digunakan *single Constructed Wetland*. Berikut perhitungannya.

##### **Zona 1**

Desain dari sistem *Constructed Wetland* (CW) yang akan direncanakan pada zona 1 adalah sistem *hybrid* atau *Hybrid Constructed Wetland* (HCW). HCW dibagi menjadi 3 *stage* agar air olahan memenuhi baku mutu air limbah serta dimensi bangunan memenuhi luas lahan yang tersedia.

- **Perhitungan HCW Stage 1**

Perhitungan HCW *Stage 1* didasarkan pada data berikut:

1. BOD influen ( $C_o$ ) = 126 mg/L
2. BOD effluen ( $C_e$ ) = 85 mg/L

Penentuan BOD effluen 85 mg/L didasarkan luas lahan tersedia, jika BOD effluen langsung memenuhi baku mutu, maka akan dibutuhkan lahan yang cukup luas, sementara lahan yang tersedia terbatas. Sehingga sebelum dilakukan perhitungan DED dilakukan perhitungan *trial and error* untuk menentukan dimensi yang sesuai kondisi lapangan, dan BOD effluent 85 mg/L merupakan BOD effluen yang paling representatif.

3.  $Q_{in} = 101 \text{ m}^3/\text{hari}$
4. Tipe vegetasi = *Cyperus papyrus*

5. Temperatur = 29 °C

6. Media basin = *Coarse sand*

7. Slope basin = 0,01

a. Kedalaman basin (d)

Kedalaman basin ditentukan berdasarkan jenis vegetasi yang akan digunakan pada sistem *wetland* yang direncanakan. Dalam hal ini, vegetasi yang akan digunakan adalah *Cyperus papyrus* yang mempunyai kemampuan penetrasi rizoma hingga sedalam 0,8 m. Oleh karena itu, kedalaman basin untuk perencanaan adalah sedalam 0,6 m yang merupakan kedalaman basin pada *wetland* umumnya.

b. Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$

Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$  tergantung dari media yang digunakan, yaitu coarse sand. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5 Karakteristik Tipikal Media Untuk *Subsurface-Flow System* (SFS).

$$\alpha = 0,39$$

$$K_s = 1,575 \text{ ft}^3/\text{ft}^2.\text{hari} = 480 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$K_{20} = 1,34$$

c.  $K_T$

Nilai  $K_T$  pada temperatur air sebesar 29°C dapat dihitung berdasarkan persamaan 2-2, yaitu :

$$K_T = K_{20} \times (1,1)^{(T-20)}, \text{ Temperatur dalam } ^\circ\text{C}$$

$$K_{29} = 1,34 \times (1,1)^{(29-20)}$$

$$K_{29} = 3,2 \text{ /hari}$$

d. Waktu detensi pore-space ( $t'$ )

Nilai  $t'$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-1), yaitu :

$$t' = -\ln((85 \text{ mg/L})/(126 \text{ mg/L})) / (3,2/\text{hari})$$

$$t' = -\ln(0,67) / (3,2/\text{hari})$$

$$t' = 0,13 \text{ hari}$$

e. Cross sectional area ( $A_c$ )

$A_c$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-3), yaitu :

$$A_c = Q / (k_s \cdot S)$$

$$A_c = 101 \text{ m}^3/\text{hari} / (480 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \times 0,01)$$

$$A_c = 21 \text{ m}^2$$

f. Lebar basin (W)

Lebar basin (W) diperoleh dari perhitungan berikut ini:

$$W = A_c/d$$

$$W = 21 \text{ m}^2/0,6 \text{ m}$$

- W = 35 m, dalam perencanaan ini W menjadi panjang basin (L).
- g. Panjang basin (L)  
 Panjang basin (L) diperoleh dari perhitungan berikut ini :  

$$L = (t \times Q) / (W \times d \times \alpha)$$

$$L = ((0,13 \text{ hari}) \times (101 \text{ m}^3/\text{hari})) / (35 \text{ m}) \times (0,6 \text{ m}) \times (0,39)$$

$$L = 1,5 \text{ m}$$
 dalam perencanaan ini L menjadi lebar basin
- h. Luas permukaan basin (As)  

$$As = L \times W$$

$$As = 35 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$$

$$As = 52,5 \text{ m}^2 = 0,00525 \text{ Ha}$$
- i. Pengecekan *hydraulic-loading rate* (Lw)  

$$Lw = Q/As$$

$$Lw = (101 \text{ m}^3/\text{hari}) / 52,5 \text{ m}^2$$

$$Lw = 1,9 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari} = 193 \text{ cm}/\text{hari}$$
- j. Pengecekan BOD<sub>5</sub> loading rate  

$$LBOD_5 = ((Q_{inf} \times BOD_{inf}) / As)$$

$$LBOD_5 = (101 \text{ m}^3/\text{hari} \times 126 \text{ mg/L}) / 52,5 \text{ m}^2$$

$$LBOD_5 = 0,24 \text{ Kg}/\text{m}^2.\text{hari}$$
- k. Penyisihan suspended solid (SS) untuk sistem SFS dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini (Sherwood C. Reed & Ronald W. Crites, 1995) :  

$$Ce = Co [ 0.1058 + 0.0011 (HLR) ]$$
- Dimana :  

$$Ce = \text{efluen TSS, mg/L}$$

$$Co = \text{influen TSS, mg/L} = 264 \text{ mg/L}$$

$$HLR = \text{hydraulic-loading rate, cm/d}$$
- $$Ce = Co [ 0.1058 + 0.0011 (HLR) ]$$

$$Ce = 264 \text{ mg/L} [ 0.1058 + 0.0011 (193 \text{ cm}/\text{hari}) ]$$

$$Ce = 84 \text{ mg/L} \text{ (Belum memenuhi baku mutu)}$$
- l. Jumlah tanaman  
 Ditentukan kerapatan tanaman = 3 setiap m<sup>2</sup>, sehingga jumlah tanaman = As x 3 = 52,5 m<sup>2</sup> x 3 = 157,5 tanaman  
 $\approx 158$  tanaman.
- m. Efisiensi Pengolahan *Stage 1*  
 Efisiensi pengolahan ditentukan dengan rumus berikut:  

$$(\text{Bod}_{inf} - \text{BOD}_{ef}) / \text{BOD}_{inf} \times 100\%$$

$$= (126 \text{ mg/L} - 85 \text{ mg/L}) / 126 \text{ mg/L} \times 100\% = 32,5 \%$$
- n. Debit Keluaran

Langkah selanjutnya menentukan debit keluaran atau  $Q_{out}$ , penentuan  $Q_{out}$  dari rumus berikut:

$$Q_{out} = Q_{in} - ET + EP + P + I$$

Dimana,

$Q_{out}$  = Debit keluaran dari wetland ( $m^3/hari$ )

$Q_{in}$  = 101  $m^3/hari$

ET = Evapotranspirasi tanaman ( $m^3/hari$ )

P = Presipitasi ( $m^3/hari$ )

I = Infiltrasi ( $m^3/hari$ )

*Constructed Wetland* pada umumnya dilapisi *clay*, liner sintetik, atau terbuat dari beton yang sifatnya meminimalkan infiltrasi, oleh karena itu infiltrasi diabaikan dan dianggap nol. (Minnesota Pollution Control Agency, 1989)

Evapotranspirasi tanaman *Cyperus papyrus* diketahui sebesar 41,9 mm/hari (Tuttolomondo, 2014). Sementara untuk presipitasi rata-rata diambil dari curah hujan rata-rata Kota Surabaya, saat bulan hujan pada stasiun pemantauan Keputih wilayah Surabaya Timur. Data curah hujan Kota Surabaya dapat dilihat di lampiran 3. Sehingga diperoleh presipitasi rata-rata sebesar 14,5 mm/hari. Berikut perhitungan debit keluaran ( $Q_{out}$ )

ET = Evapotransporasi *Cyperus papyrus* / 1000 x As

$$= 41,9 \text{ mm/hari} / 1000 \times 52,5 \text{ m}^2$$

$$= 2,19 \text{ m}^3/\text{hari} \approx 2,2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

P = Presipitasi rata-rata / 1000 x As

$$= 14,5 \text{ mm/hari} / 1000 \times 52,5 \text{ m}^2$$

$$= 0,76 \text{ m}^3/\text{hari}$$

I = 0

$Q_{out}$  = 101  $m^3/hari$  – 2,2  $m^3/hari$  + 0,76  $m^3/hari$  + 0

$$= 99,77 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Pada *Stage 1* ini, *constructed wetland* menggunakan arah aliran horizontal, dimana media atau substrat dijaga dalam keadaan jenuh melalui pengaliran secara horizontal dan lambat.

- **Perhitungan HCW Stage 2**

Perhitungan HCW *Stage 2* didasarkan pada data berikut:

1. BOD influen ( $C_o$ )= BOD effluen *Stage 1* = 85 mg/L
2. BOD effluen ( $C_e$ )= 58 mg/L

Penentuan BOD effluen 58 mg/L didasarkan luas lahan tersedia, jika BOD effluen langsung memenuhi baku mutu, maka akan dibutuhkan lahan yang cukup luas, sementara lahan yang

tersedia terbatas. Sehingga dilakukan perhitungan *trial and error* untuk menentukan dimensi yang sesuai kondisi lapangan, dan BOD effluen 58 mg/L merupakan BOD effluen yang paling representatif untuk memperoleh desain yang ideal.

3.  $Q_{in} = Q_{out} \text{ Stage 1} = 99,77 \text{ m}^3/\text{hari}$

4. Tipe vegetasi = *Canna indica L.*

5. Temperatur =  $29^\circ\text{C}$

6. Media basin = *Coarse sand*

7. Slope basin = 0,01

a. Kedalaman basin (d)

Kedalaman basin ditentukan berdasarkan jenis vegetasi yang akan digunakan pada sistem *wetland* yang direncanakan. Dalam hal ini, vegetasi yang akan digunakan adalah kana yang mempunyai kemampuan penetrasi rizoma hingga sedalam 0,8 m. Oleh karena itu, kedalaman basin untuk perencanaan adalah sedalam 0,6 m yang merupakan kedalaman basin pada *wetland* umumnya.

b. Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$

Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$  tergantung dari media yang digunakan, yaitu *coarse sand*. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5 Karakteristik Tipikal Media Untuk SFS.

$$\alpha = 0,39$$

$$K_s = 1,575 \text{ ft}^3/\text{ft}^2.\text{hari} = 480 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$K_{20} = 1,34$$

c.  $K_T$

Nilai  $K_T$  pada temperatur air sebesar  $29^\circ\text{C}$  dapat dihitung berdasarkan persamaan 2-2, yaitu :

$$K_T = K_{20} \times (1,1)^{(T-20)}, \text{ Temperatur dalam } ^\circ\text{C}$$

$$K_{29} = 1,34 \times (1,1)^{(29-20)}$$

$$K_{29} = 3,2 \text{ /hari}$$

d. Waktu detensi pore-space ( $t'$ )

Nilai  $t'$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-1), yaitu :

$$t' = -\ln((58\text{mg/L})/(85\text{ mg/L})) / (3,2/\text{hari})$$

$$t' = -\ln(0,67) / (3,2/\text{hari})$$

$$t' = 0,12 \text{ hari}$$

e. Cross sectional area ( $A_c$ )

$A_c$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-3), yaitu :

$$A_c = Q / (k_s \cdot S)$$

$$A_c = 99,77 \text{ m}^3/\text{hari} / (480 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \times 0,01)$$



- f.  $A_c = 21 \text{ m}^2$   
 Lebar basin (W)  
 Lebar basin (W) diperoleh dari perhitungan berikut ini:  
 $W = A_c/d$   
 $W = 21 \text{ m}^2/0,6 \text{ m}$   
 $W = 35 \text{ m}$ , dalam perencanaan ini W menjadi panjang basin (L).
- g. Panjang basin (L)  
 Panjang basin (L) diperoleh dari perhitungan berikut ini :  
 $L = (t' \times Q) / (W \times d \times \alpha)$   
 $L = ((0,12 \text{ hari}) \times (99,77 \text{ m}^3/\text{hari})) / (35 \text{ m}) \times (0,6 \text{ m}) \times (0,39)$   
 $L = 1,5 \text{ m}$ , dalam perencanaan ini L menjadi lebar basin
- h. Luas permukaan basin ( $A_s$ )  
 $A_s = L \times W$   
 $A_s = 35 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$   
 $A_s = 52,5 \text{ m}^2 = 0,00525 \text{ Ha}$
- i. Pengecekan *hydraulic-loading rate* ( $L_w$ )  
 $L_w = Q/A_s$   
 $L_w = (99,77 \text{ m}^3/\text{hari})/52,5 \text{ m}^2$   
 $L_w = 1,90 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari} = 190 \text{ cm}/\text{hari}$
- j. Pengecekan  $BOD_5$  loading rate  
 $LBOD_5 = ((Q_{inf} \times BOD_{inf}) / A_s)$   
 $LBOD_5 = (99,77 \text{ m}^3/\text{hari} \times 85 \text{ mg/L}) / 52,5 \text{ m}^2$   
 $LBOD_5 = 0,16 \text{ Kg}/\text{m}^2.\text{hari}$
- k. Penyisihan suspended solid (SS) untuk sistem SFS dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini (Sherwood C. Reed & Ronald W. Crites, 1995) :  
 $C_e = C_o [ 0.1058 + 0.0011 (HLR) ]$
- Dimana :  $C_e$  = effluen TSS, mg/L  
 $C_o$  = influen TSS = effluen TSS *Stage 1*  
 $= 84 \text{ mg/L}$   
 $HLR$  = hydraulic-loading rate, cm/d
- $C_e = C_o [ 0.1058 + 0.0011 (HLR) ]$   
 $C_e = 84 \text{ mg/L} [ 0.1058 + 0.0011 (190 \text{ cm}/\text{hari}) ]$   
 $C_e = 27 \text{ mg/L}$  (*memenuhi baku mutu*)
- l. Jumlah tanaman

Ditentukan kerapatan tanaman = 3 setiap m<sup>2</sup>, sehingga jumlah tanaman = As x 3 = 52,5 m<sup>2</sup> x 3 = 157,5 tanaman ≈ 158 tanaman.

m. Efisiensi Pengolahan *Stage 2*

Efisiensi pengolahan ditentukan dengan rumus berikut:

$$(\text{Bod inf}-\text{BOD ef})/\text{BOD inf} \times 100\%$$

$$= (85 \text{ mg/L}-58\text{mg/L}) /85 \text{ mg/L} \times 100\% = 32\%$$

n. Debit Keluaran

Langkah selanjutnya menentukan debit keluaran atau

Q<sub>out</sub>, penentuan Q<sub>out</sub> dari rumus berikut:

$$Q_{\text{out}} = Q_{\text{in}} - \text{ET} + \text{EP} + \text{P} + \text{I}$$

Dimana,

$$Q_{\text{out}} = \text{Debit keluaran dari wetland (m}^3/\text{hari)}$$

$$Q_{\text{in}} = 99,77 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{ET} = \text{Evapotranspirasi tanaman (m}^3/\text{hari)}$$

$$\text{P} = \text{Presipitasi (m}^3/\text{hari)}$$

$$\text{I} = \text{Infiltrasi (m}^3/\text{hari)}$$

*Constructed Wetland* pada umumnya dilapisi *clay*, liner sintetis, atau terbuat dari beton yang sifatnya meminimalkan infiltrasi, oleh karena itu infiltrasi diabaikan dan dianggap nol. (Minnesota Pollution Control Agency, 1989)

Evapotranspirasi tanaman kana diketahui sebesar 28,55 mm/hari (Konnerup, 2009). Sementara untuk presipitasi rata-rata diambil dari curah hujan rata-rata Kota Surabaya, saat bulan hujan pada stasiun pemantauan Keputih wilayah Surabaya Timur. Data curah hujan Kota Surabaya dapat dilihat di lampiran 3. Sehingga diperoleh presipitasi rata-rata sebesar 14,5 mm/hari. Berikut perhitungan debit keluaran (Q<sub>out</sub>)

$$\text{ET} = \text{Evapotransporasi kana} / 1000 \times \text{As}$$

$$= 28,55 \text{ mm/hari} / 1000 \times 52,5 \text{ m}^2$$

$$= 1,49 \text{ m}^3/\text{hari} \approx 1,5 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{P} = \text{Presipitasi rata-rata} / 1000 \times \text{As}$$

$$= 14,5 \text{ mm/hari} / 1000 \times 52,5 \text{ m}^2$$

$$= 0,76 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{I} = 0$$

$$Q_{\text{out}} = 99,77 \text{ m}^3/\text{hari} - 1,5 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,76 \text{ m}^3/\text{hari} + 0$$

$$= 99 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Pada *Stage 2* ini, *constructed wetland* menggunakan arah aliran horizontal, dimana media atau substrat dijaga dalam keadaan jenuh melalui pengaliran secara horizontal dan lambat.

• **Perhitungan HCW Stage 3**

Perhitungan HCW *Stage 3* didasarkan pada data berikut:

1. BOD influen ( $C_o$ )= BOD efluen *Stage 2* = 58 mg/L
2. BOD efluen ( $C_e$ )= 26 mg/L
3.  $Q_{in} = Q_{out}$  *Stage 2* = 99 m<sup>3</sup>/hari
4. Tipe vegetasi = Bambu Air (*Equisetum hyemale*)
5. Temperatur = 29 °C
6. Media basin = *medium sand*
7. Slope basin = 0,01

a. Kedalaman basin ( $d$ )

Kedalaman basin ditentukan berdasarkan jenis vegetasi yang akan digunakan pada sistem *wetland* yang direncanakan. Dalam hal ini, vegetasi yang akan digunakan adalah Bambu Air (*Equisetum hyemale*) yang mempunyai kemampuan penetrasi rizoma hingga sedalam 0,8 m. Oleh karena itu, kedalaman basin untuk perencanaan adalah sedalam 0,6 m yang merupakan kedalaman basin pada *wetland* umumnya.

b. Nilai  $\alpha$ ,  $K_s$ , dan  $K_{20}$

Nilai  $\alpha$ ,  $K_s$ , dan  $K_{20}$  tergantung dari media yang digunakan, yaitu *medium sand*. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5 Karakteristik Tipikal Media Untuk SFS.

$$\alpha = 0,42$$

$$K_s = 1.380 \text{ ft}^3/\text{ft}^2 \cdot \text{hari} = 420,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$K_{20} = 1,84$$

c.  $K_T$

Nilai  $K_T$  pada temperatur air sebesar 29°C dapat dihitung berdasarkan persamaan 2-2, yaitu :

$$K_T = K_{20} \times (1,1)^{(T-20)}, \text{ Temperatur dalam } ^\circ\text{C}$$

$$K_{29} = 1,84 \times (1,1)^{(29-20)}$$

$$K_{29} = 4,3 \text{ /hari}$$

d. Waktu detensi pore-space ( $t'$ )

Nilai  $t'$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-1), yaitu :

$$t' = -\ln((26\text{mg/L})/(58\text{mg/L})) / (4,3/\text{hari})$$

$$t' = -\ln(0,45) / (4,3/\text{hari})$$

$$t' = 0,19 \text{ hari}$$

e. Cross sectional area ( $A_c$ )

Ac diperoleh berdasarkan persamaan (2-3), yaitu :

$$Ac = Q / (k_s \cdot S)$$

$$Ac = 99 \text{ m}^3/\text{hari} / (420,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \times 0,01)$$

$$Ac = 24 \text{ m}^2$$

f. Lebar basin (W)

Lebar basin (W) diperoleh dari perhitungan berikut ini:

$$W = Ac/d$$

$$W = 24 \text{ m}^2 / 0,6 \text{ m}$$

W = 40 m, dalam perencanaan ini W menjadi panjang basin (L).

g. Panjang basin (L)

Panjang basin (L) diperoleh dari perhitungan berikut ini :

$$L = (t' \times Q) / (W \times d \times \alpha)$$

$$L = (0,19 \text{ hari}) \times (99 \text{ m}^3/\text{hari}) / (40 \text{ m}) \times (0,6 \text{ m}) \times (0,42)$$

$$L = 1,85 \text{ m} \approx 2 \text{ m}, \text{ dalam perencanaan ini L menjadi lebar basin}$$

h. Luas permukaan basin (As)

$$As = L \times W$$

$$As = 40 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$As = 80 \text{ m}^2 = 0,008 \text{ Ha}$$

i. Pengecekan *hydraulic-loading rate* (Lw)

$$Lw = Q/As$$

$$Lw = (99 \text{ m}^3/\text{hari}) / 80 \text{ m}^2$$

$$Lw = 1,24 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari} = 124 \text{ cm}/\text{hari}$$

j. Pengecekan BOD<sub>5</sub> loading rate

$$LBOD_5 = ((Q_{inf} \times BOD_{inf}) / As)$$

$$LBOD_5 = (99 \text{ m}^3/\text{hari} \times 58 \text{ mg/L}) / 80 \text{ m}^2$$

$$LBOD_5 = 0,07 \text{ Kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

k. Penyisihan suspended solid (SS) untuk sistem SFS dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini

(Sherwood C. Reed & Ronald W. Crites, 1995) :

$$Ce = Co [ 0.1058 + 0.0011 (HLR) ]$$

Dimana :  $Ce$  = effluen TSS, mg/L

$Co$  = influen TSS = effluen TSS *Stage 2*

$$= 27 \text{ mg/L}$$

HLR = hydraulic-loading rate, cm/d

$$Ce = Co [ 0.1058 + 0.0011 (HCLR) ]$$

$$Ce = 27 \text{ mg/L} [ 0.1058 + 0.0011 (124 \text{ cm}/\text{hari}) ]$$

$$Ce = 6,5 \text{ mg/L} \text{ (memenuhi baku mutu)}$$

- l. Jumlah tanaman  
Ditentukan kerapatan tanaman = 3 setiap m<sup>2</sup>, sehingga  
jumlah tanaman =  $A_s \times 3 = 80 \text{ m}^2 \times 3 = 240$  tanaman
- m. Efisiensi Pengolahan *Stage 3*  
Efisiensi pengolahan ditentukan dengan rumus berikut:  
 $(\text{Bod inf}-\text{BOD ef})/\text{BOD inf} \times 100\%$   
 $= (58 \text{ mg/L}-26\text{mg/L}) /58 \text{ mg/L} \times 100\% = 55\%$
- n. Debit Keluaran  
Langkah selanjutnya menentukan debit keluaran atau  
 $Q_{\text{out}}$ , penentuan  $Q_{\text{out}}$  dari rumus berikut:

$$Q_{\text{out}} = Q_{\text{in}} - \text{ET} + \text{EP} + \text{P} + \text{I}$$

Dimana,

$Q_{\text{out}}$  = Debit keluaran dari wetland (m<sup>3</sup>/hari)

$Q_{\text{in}}$  = 99 m<sup>3</sup>/hari

ET = Evapotranspirasi tanaman (m<sup>3</sup>/hari)

P = Presipitasi (m<sup>3</sup>/hari)

I = Infiltrasi (m<sup>3</sup>/hari)

*Constructed Wetland* pada umumnya dilapisi *clay*, liner sintetik, atau terbuat dari beton yang sifatnya meminimalkan infiltrasi, oleh karena itu infiltrasi diabaikan dan dianggap nol. (Minnesota Pollution Control Agency, 1989)

Evapotranspirasi tanaman bambu air diketahui sebesar 19 mm/hari (Tuttolomondo, 2014). Sementara untuk presipitasi rata-rata diambil dari curah hujan rata-rata Kota Surabaya, saat bulan hujan pada stasiun pemantauan Keputih wilayah Surabaya Timur. Data curah hujan Kota Surabaya dapat dilihat di lampiran 3. Sehingga diperoleh presipitasi rata-rata sebesar 14,5 mm/hari. Berikut perhitungan debit keluaran ( $Q_{\text{out}}$ )

ET = Evapotransporasi bambu air / 1000 x  $A_s$   
 $= 19 \text{ mm/hari} / 1000 \times 80 \text{ m}^2$   
 $= 1,52 \text{ m}^3/\text{hari} \approx 1,5 \text{ m}^3/\text{hari}$

P = Presipitasi rata-rata / 1000 x  $A_s$   
 $= 14,5 \text{ mm/hari} / 1000 \times 80 \text{ m}^2$   
 $= 1,16 \text{ m}^3/\text{hari}$

I = 0

$Q_{\text{out}}$  =  $99 \text{ m}^3/\text{hari} - 1,5 \text{ m}^3/\text{hari} + 1,16 \text{ m}^3/\text{hari} + 0$   
 $= 98,7 \text{ m}^3/\text{hari}$

Pengecekan *hydraulic-loading rate* seluruh sistem ( $L_w$ )

$$Lw = Q_{in}/\text{Total As}$$

$$Lw = (101 \text{ m}^3/\text{hari})/(52,5+52,5+80)\text{m}^2$$

$$Lw = (101 \text{ m}^3/\text{hari})/185 \text{ m}^2$$

$$Lw = 0,55 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari} = 55 \text{ cm}/\text{hari} \text{ (OK)}$$

Pengecekan BOD<sub>5</sub> loading rate

$$LBOD_5 = ((Q_{in} \times BOD_{inf}) / As)$$

$$LBOD_5 = (101 \text{ m}^3/\text{hari} \times 126 \text{ mg/L}) / 185 \text{ m}^2$$

$$LBOD_5 = 687,9 \text{ Kg}/\text{Ha.hari} \text{ (OK)}$$

Pada *Stage 3* ini, *constructed wetland* menggunakan arah aliran vertikal, dimana media atau substrat dijaga tidak dalam keadaan jenuh melalui penggunaan pompa air yang memompa limbah cair dari bak pengumpul ke bagian substrat secara tidak terus-menerus. Prinsip kerja antara arah aliran vertikal maupun horizontal sama dalam pengolahan limbah cair, selain keadaan jenuh media, yang membedakan antara prinsip kerja arah aliran horizontal dan vertikal adalah penyusunan media.

Selanjutnya dirancang *perforated baffle* untuk diletakkan di awal unit CW pada masing-masing *stage*. *Perforated Baffle* ini bertujuan untuk menghindari *dead zone* pada unit CW, sehingga debit aliran dapat merata terdistribusi di seluruh unit CW untuk diolah.

#### Stage dan 1 dan 2:

Panjang Baffle = Lebar Basin = 1,5 m

Tinggi Baffle = 0,6 m

Diameter lubang = 0,1 m = 10 cm

Jarak antar lubang = 0,05 m = 5 cm

#### Stage 3:

Panjang Baffle = Lebar Basin = 2 m

Lebar Baffle = 1,15 m

Diameter lubang = 0,1 m = 10 cm

Jarak antar lubang = 0,05 m = 5 cm

### **Zona 2**

Desain dari sistem *Constructed Wetland* (CW) yang akan direncanakan pada zona 2 adalah sistem *hybrid* atau *Hybrid Constructed Wetland* (HCW). HCW dibagi menjadi 3 *stage* agar air olahan memenuhi baku mutu air limbah serta dimensi bangunan memenuhi luas lahan yang tersedia.

- ***Perhitungan HCW Stage 1***

Perhitungan HCW Stage 1 didasarkan pada data berikut:

1. BOD influen ( $C_o$ ) = 126 mg/L

2. BOD effluen ( $C_e$ ) = 85 mg/L

Penentuan BOD effluen 85 mg/L didasarkan luas lahan tersedia, jika BOD effluen langsung memenuhi baku mutu, maka akan dibutuhkan lahan yang cukup luas, sementara lahan yang tersedia terbatas. Sehingga sebelum dilakukan perhitungan DED dilakukan perhitungan *trial and error* untuk menentukan dimensi yang sesuai kondisi lapangan, dan BOD effluen 85 mg/L merupakan BOD effluent yang paling representatif.

3.  $Q_{in} = 87 \text{ m}^3/\text{hari}$

4. Tipe vegetasi = *Cyperus papyrus*

5. Temperatur =  $29^\circ\text{C}$

6. Media basin = *Gravelly sand*

7. Slope basin = 0,01

a. Kedalaman basin ( $d$ )

Kedalaman basin ditentukan berdasarkan jenis vegetasi yang akan digunakan pada sistem *wetland* yang direncanakan. Dalam hal ini, vegetasi yang akan digunakan adalah *Cyperus papyrus* yang mempunyai kemampuan penetrasi rizoma hingga sedalam 0,8 m. Oleh karena itu, kedalaman basin untuk perencanaan adalah sedalam 0,6 m yang merupakan kedalaman basin pada *wetland* umumnya.

b. Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$

Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$  tergantung dari media yang digunakan, yaitu *gravelly sand*. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5 Karakteristik Tipikal Media Untuk SFS.

$$\alpha = 0,35$$

$$K_s = 1,640 \text{ ft}^3/\text{ft}^2.\text{hari} = 500 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$K_{20} = 0,86$$

c.  $K_T$

Nilai  $K_T$  pada temperatur air sebesar  $29^\circ\text{C}$  dapat dihitung berdasarkan persamaan 2-2, yaitu :

$$K_T = K_{20} \times (1,1)^{(T-20)}, \text{ Temperatur dalam } ^\circ\text{C}$$

$$K_{29} = 0,86 \times (1,1)^{(29-20)}$$

$$K_{29} = 2 \text{ /hari}$$

d. Waktu detensi pore-space ( $t'$ )

Nilai  $t'$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-1), yaitu :

$$t' = -\ln((85 \text{ mg/L})/(126 \text{ mg/L})) / (2/\text{hari})$$

$$t' = -\ln(0,67) / (3,2/\text{hari})$$

- $t' = 0,194$  hari
- e. Cross sectional area ( $A_c$ )  
 $A_c$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-3), yaitu :  
 $A_c = Q / (k_s \cdot S)$   
 $A_c = 87 \text{ m}^3/\text{hari} / (500 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \times 0,01)$   
 $A_c = 17 \text{ m}^2$
- f. Lebar basin ( $W$ )  
 Lebar basin ( $W$ ) diperoleh dari perhitungan berikut ini:  
 $W = A_c/d$   
 $W = 17 \text{ m}^2/0,6 \text{ m}$   
 $W = 29 \text{ m}$ , dalam perencanaan ini  $W$  menjadi panjang basin ( $L$ ). Dimensi yang dipakai = 30 m
- g. Panjang basin ( $L$ )  
 Panjang basin ( $L$ ) diperoleh dari perhitungan berikut ini :  
 $L = (t' \times Q) / (W \times d \times \alpha)$   
 $L = (0,194 \text{ hari}) \times (87 \text{ m}^3/\text{hari}) / (30 \text{ m}) \times (0,6 \text{ m}) \times (0,35)$   
 $L = 2,7 \text{ m}$ , dalam perencanaan ini  $L$  menjadi lebar basin dan dimensi yang dipakai 3 m
- h. Luas permukaan basin ( $A_s$ )  
 $A_s = L \times W$   
 $A_s = 30 \text{ m} \times 3 \text{ m}$   
 $A_s = 90 \text{ m}^2 = 0,009 \text{ Ha}$
- i. Pengecekan *hydraulic-loading rate* ( $L_w$ )  
 $L_w = Q/A_s$   
 $L_w = (87 \text{ m}^3/\text{hari}) / 90 \text{ m}^2$   
 $L_w = 0,96 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari} = 96 \text{ cm}/\text{hari}$
- j. Pengecekan  $BOD_5$  loading rate  
 $LBOD_5 = (Q_{inf} \times BOD_{inf}) / A_s$   
 $LBOD_5 = (87 \text{ m}^3/\text{hari} \times 126 \text{ mg}/\text{L}) / 90 \text{ m}^2$   
 $LBOD_5 = 0,12 \text{ Kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$
- k. Penyisihan suspended solid (SS) untuk sistem SFS dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini (Sherwood C. Reed & Ronald W. Crites, 1995) :
- $$C_e = C_o [0.1058 + 0.0011 (HLR)]$$
- Dimana :
- $C_e$  = efluen TSS, mg/L
  - $C_o$  = influen TSS, mg/L = 264 mg/L
  - HLR = hydraulic-loading rate, cm/d
- $$C_e = C_o [0.1058 + 0.0011 (HLR)]$$
- $$C_e = 264 \text{ mg}/\text{L} [0.1058 + 0.0011 (96 \text{ cm}/\text{hari})]$$



Ce = 56 mg/L (*Belum memenuhi baku mutu*)

- l. Jumlah tanaman  
Ditentukan kerapatan tanaman = 3 setiap m<sup>2</sup>, sehingga  
jumlah tanaman = As x 3 = 90 m<sup>2</sup> x 3 = 270 tanaman.
- m. Efisiensi Pengolahan Stage 1  
Efisiensi pengolahan ditentukan dengan rumus berikut:  
(Bod inf-BOD ef)/BOD inf x 100%  
= (126 mg/L-85 mg/L)/126 mg/L x 100% = 32,5 %
- n. Debit Keluaran  
Langkah selanjutnya menentukan debit keluaran atau  
Q<sub>out</sub>, penentuan Q<sub>out</sub> dari rumus berikut:

$$Q_{out} = Q_{in} - ET + EP + P + I$$

Dimana,

Q<sub>out</sub> = Debit keluaran dari wetland (m<sup>3</sup>/hari)

Q<sub>in</sub> = 87 m<sup>3</sup>/hari

ET = Evapotranspirasi tanaman (m<sup>3</sup>/hari)

P = Presipitasi (m<sup>3</sup>/hari)

I = Infiltrasi (m<sup>3</sup>/hari)

*Constructed Wetland* pada umumnya dilapisi *clay*, liner sintetik, atau terbuat dari beton yang sifatnya meminimalkan infiltrasi, oleh karena itu infiltrasi diabaikan dan dianggap nol. (Minnesota Pollution Control Agency, 1989)

Evapotranspirasi tanaman *Cyperus papyrus* diketahui sebesar 41,9 mm/hari (Tuttolomondo, 2014). Sementara untuk presipitasi rata-rata diambil dari curah hujan rata-rata Kota Surabaya, saat bulan hujan pada stasiun pemantauan Keputih wilayah Surabaya Timur. Data curah hujan Kota Surabaya dapat dilihat di lampiran 3. Sehingga diperoleh presipitasi rata-rata sebesar 14,5 mm/hari. Berikut perhitungan debit keluaran (Q<sub>out</sub>)

ET = Evapotransporasi bambu air / 1000 x As

$$= 19 \text{ mm/hari} / 1000 \times 90 \text{ m}^2$$

$$= 3,77 \text{ m}^3/\text{hari} \approx 3,8 \text{ m}^3/\text{hari}$$

P = Presipitasi rata-rata / 1000 x As

$$= 14,5 \text{ mm/hari} / 1000 \times 90 \text{ m}^2$$

$$= 1,3 \text{ m}^3/\text{hari}$$

I = 0

$$Q_{out} = 87 \text{ m}^3/\text{hari} - 3,8 \text{ m}^3/\text{hari} + 1,3 \text{ m}^3/\text{hari} + 0$$

$$= 84,2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Pada *Stage 1* ini, *constructed wetland* menggunakan arah aliran horizontal, dimana media atau substrat dijaga dalam keadaan jenuh melalui pengaliran secara horizontal dan lambat.

- **Perhitungan HCW Stage 2**

Perhitungan HCW *Stage 2* didasarkan pada data berikut:

1. BOD influen ( $C_o$ ) = BOD effluen *Stage 1* = 85 mg/L
2. BOD effluen ( $C_e$ ) = 41 mg/L

Penentuan BOD effluen 41 mg/L didasarkan luas lahan tersedia, jika BOD effluen langsung memenuhi baku mutu, maka akan dibutuhkan lahan yang cukup luas, sementara lahan yang tersedia terbatas. Sehingga dilakukan perhitungan *trial and error* untuk menentukan dimensi yang sesuai kondisi lapangan, dan BOD effluen 41 mg/L merupakan BOD effluen yang paling representatif untuk memperoleh desain yang ideal.

3.  $Q_{in} = Q_{out}$  *Stage 1* = 84,2 m<sup>3</sup>/hari
4. Tipe vegetasi = *Canna indica L.*
5. Temperatur = 29 °C
6. Media basin = *Coarse sand*
7. Slope basin = 0,01

- a. Kedalaman basin (d)

Kedalaman basin ditentukan berdasarkan jenis vegetasi yang akan digunakan pada sistem *wetland* yang direncanakan. Dalam hal ini, vegetasi yang akan digunakan adalah kana yang mempunyai kemampuan penetrasi rizoma hingga sedalam 0,8 m. Oleh karena itu, kedalaman basin untuk perencanaan adalah sedalam 0,6 m yang merupakan kedalaman basin pada *wetland* umumnya.

- b. Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$

Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$  tergantung dari media yang digunakan, yaitu *coarse sand*. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5 Karakteristik Tipikal Media Untuk SFS.

$$\alpha = 0,39$$

$$K_s = 1,575 \text{ ft}^3/\text{ft}^2.\text{hari} = 480 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$K_{20} = 1,34$$

- c.  $K_T$

Nilai  $K_T$  pada temperatur air sebesar 29°C dapat dihitung berdasarkan persamaan 2-2, yaitu :

$$K_T = K_{20} \times (1,1)^{(T-20)}, \text{ Temperatur dalam } ^\circ\text{C}$$

$$K_{29} = 1,34 \times (1,1)^{(29-20)}$$

- $K_{29} = 3,2 \text{ /hari}$
- d. Waktu detensi pore-space ( $t'$ )  
 Nilai  $t'$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-1), yaitu :  
 $t' = - \ln ((41 \text{ mg/L})/(85 \text{ mg/L})) / (3,2/\text{hari})$   
 $t' = - \ln (0,48) / (3,2/\text{hari})$   
 $t' = 0,23/\text{hari}$
- e. Cross sectional area ( $A_c$ )  
 $A_c$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-3), yaitu :  
 $A_c = Q / (k_s \cdot S)$   
 $A_c = 84,2 \text{ m}^3/\text{hari} / (480 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \times 0,01)$   
 $A_c = 18 \text{ m}^2$
- f. Lebar basin ( $W$ )  
 Lebar basin ( $W$ ) diperoleh dari perhitungan berikut ini:  
 $W = A_c/d$   
 $W = 18 \text{ m}^2/0,6 \text{ m}$   
 $W = 30 \text{ m}$ , dalam perencanaan ini  $W$  menjadi panjang basin ( $L$ ).
- g. Panjang basin ( $L$ )  
 Panjang basin ( $L$ ) diperoleh dari perhitungan berikut ini :  
 $L = (t' \times Q) / (W \times d \times \alpha)$   
 $L = (0,23 \text{ hari}) \times (84,2 \text{ m}^3/\text{hari}) / (30 \text{ m}) \times (0,6 \text{ m}) \times (0,39)$   
 $L = 2,8 \approx 3 \text{ m}$ , dalam perencanaan ini  $L$  menjadi lebar basin
- h. Luas permukaan basin ( $A_s$ )  
 $A_s = L \times W$   
 $A_s = 30 \text{ m} \times 3 \text{ m}$   
 $A_s = 90 \text{ m}^2 = 0,009 \text{ Ha}$
- i. Pengecekan *hydraulic-loading rate* ( $L_w$ )  
 $L_w = Q/A_s$   
 $L_w = (84,2 \text{ m}^3/\text{hari})/90 \text{ m}^2$   
 $L_w = 0,94 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari} = 94 \text{ cm/hari}$
- j. Pengecekan  $BOD_5$  loading rate  
 $LBOD_5 = ((Q_{inf} \times BOD_{inf}) / A_s)$   
 $LBOD_5 = (86,3 \text{ m}^3/\text{hari} \times 85 \text{ mg/L}) / 90 \text{ m}^2$   
 $LBOD_5 = 0,08 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{hari}$
- k. Penyisihan suspended solid (SS) untuk sistem SFS dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini (Sherwood C. Reed & Ronald W. Crites, 1995) :  
 $C_e = C_o [ 0.1058 + 0.0011 (\text{HLR}) ]$

Dimana :  $C_e$  = efluen TSS, mg/L  
 $C_o$  = influen TSS = effluen TSS *Stage 1*  
= 56 mg/L

HLR = hydraulic-loading rate, cm/d

$$C_e = C_o [ 0.1058 + 0.0011 (\text{HLR}) ]$$

$$C_e = 56 \text{ mg/L } [ 0.1058 + 0.0011 (94 \text{ cm/hari}) ]$$

$$C_e = 11,8 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu)}$$

l. Jumlah tanaman

Ditentukan kerapatan tanaman = 3 setiap  $\text{m}^2$ , sehingga  
jumlah tanaman =  $A_s \times 3 = 90 \text{ m}^2 \times 3 = 270$  tanaman

m. Efisiensi Pengolahan *Stage 2*

Efisiensi pengolahan ditentukan dengan rumus berikut:

$$(\text{Bod inf}-\text{BOD ef})/\text{BOD inf} \times 100\%$$

$$= (85 \text{ mg/L}-41\text{mg/L}) /85 \text{ mg/L} \times 100\% = 52\%$$

n. Debit Keluaran

Langkah selanjutnya menentukan debit keluaran atau

$Q_{out}$ , penentuan  $Q_{out}$  dari rumus berikut:

$$Q_{out} = Q_{in} - ET + EP + P + I$$

Dimana,

$$Q_{out} = \text{Debit keluaran dari wetland (m}^3/\text{hari)}$$

$$Q_{in} = 84,2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$ET = \text{Evapotranspirasi tanaman (m}^3/\text{hari)}$$

$$P = \text{Presipitasi (m}^3/\text{hari)}$$

$$I = \text{Infiltrasi (m}^3/\text{hari)}$$

*Constructed Wetland* pada umumnya dilapisi *clay*, liner sintetik, atau terbuat dari beton yang sifatnya meminimalkan infiltrasi, oleh karena itu infiltrasi diabaikan dan dianggap nol. (Minnesota Pollution Control Agency, 1989)

Evapotranspirasi tanaman kana diketahui sebesar 28,55 mm/hari (Konnerup, 2009). Sementara untuk presipitasi rata-rata diambil dari curah hujan rata-rata Kota Surabaya, saat bulan hujan pada stasiun pemantauan Keputih wilayah Surabaya Timur. Data curah hujan Kota Surabaya dapat dilihat di lampiran 3. Sehingga diperoleh presipitasi rata-rata sebesar 14,5 mm/hari. Berikut perhitungan debit keluaran ( $Q_{out}$ )

$$ET = \text{Evapotransporasi kana} / 1000 \times A_s$$

$$= 28,55 \text{ mm/hari} / 1000 \times 90 \text{ m}^2$$

$$= 2,56 \text{ m}^3/\text{hari} \approx 2,6 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$P = \text{Presipitasi rata-rata} / 1000 \times A_s$$

$$= 14,5 \text{ mm/hari} / 1000 \times 90 \text{ m}^2$$

$$= 1,3 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$I = 0$$

$$Q_{out} = 84,2 \text{ m}^3/\text{hari} - 2,6 \text{ m}^3/\text{hari} + 1,3 \text{ m}^3/\text{hari} + 0$$

$$= 83 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Pada *Stage 2* ini, *constructed wetland* menggunakan arah aliran horizontal, dimana media atau substrat dijaga dalam keadaan jenuh melalui pengaliran secara horizontal dan lambat.

### • **Perhitungan HCW Stage 3**

Perhitungan HCW *Stage 3* didasarkan pada data berikut:

1. BOD influen ( $C_o$ ) = BOD efluen *Stage 2* = 41 mg/L

2. BOD efluen ( $C_e$ ) = 21 mg/L

3.  $Q_{in} = Q_{out}$  *Stage 2* = 83 m<sup>3</sup>/hari

4. Tipe vegetasi = Bambu Air (*Equisetum hyemale*)

5. Temperatur = 29 °C

6. Media basin = *medium sand*

7. Slope basin = 0,01

a. Kedalaman basin ( $d$ )

Kedalaman basin ditentukan berdasarkan jenis vegetasi yang akan digunakan pada sistem *wetland* yang direncanakan. Dalam hal ini, vegetasi yang akan digunakan adalah Bambu Air yang mempunyai kemampuan penetrasi rizoma hingga sedalam 0,8 m. Oleh karena itu, kedalaman basin untuk perencanaan adalah sedalam 0,6 m yang merupakan kedalaman basin pada *wetland* umumnya.

b. Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$

Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$  tergantung dari media yang digunakan, yaitu *medium sand*. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5 Karakteristik Tipikal Media Untuk SFS.

$$\alpha = 0,42$$

$$K_s = 1.380 \text{ ft}^3/\text{ft}^2 \cdot \text{hari} = 420,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$K_{20} = 1,84$$

c.  $K_T$

Nilai  $K_T$  pada temperatur air sebesar 29°C dapat dihitung berdasarkan persamaan 2-2, yaitu :

$$K_T = K_{20} \times (1,1)^{(T-20)}, \text{ Temperatur dalam } ^\circ\text{C}$$

$$K_{29} = 1,84 \times (1,1)^{(29-20)}$$

$$K_{29} = 4,3 \text{ /hari}$$

d. Waktu detensi pore-space ( $t'$ )

Nilai  $t'$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-1), yaitu :

$$t' = - \ln ((21\text{mg/L})/(41 \text{ mg/L})) / (4,3/\text{hari})$$

$$t' = - \ln (0,51) / (4,3/\text{hari})$$

$$t' = 0,15 \text{ hari}$$

e. Cross sectional area ( $A_c$ )

$A_c$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-3), yaitu :

$$A_c = Q / (k_s \cdot S)$$

$$A_c = 83 \text{ m}^3/\text{hari} / (420,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \times 0,01)$$

$$A_c = 20 \text{ m}^2$$

f. Lebar basin ( $W$ )

Lebar basin ( $W$ ) diperoleh dari perhitungan berikut ini:

$$W = A_c/d$$

$$W = 20 \text{ m}^2/0,6 \text{ m}$$

$W = 33,7 \text{ m}$ , dalam perencanaan ini  $W$  menjadi panjang basin ( $L$ ). Dan dipakai dimensi 35 m

g. Panjang basin ( $L$ )

Panjang basin ( $L$ ) diperoleh dari perhitungan berikut ini :

$$L = (t' \times Q) / (W \times d \times \alpha)$$

$$L = (0,15 \text{ hari}) \times (83 \text{ m}^3/\text{hari}) / (35 \text{ m}) \times (0,6 \text{ m}) \times (0,42)$$

$L = 1,5 \text{ m}$ , dalam perencanaan ini  $L$  menjadi lebar basin

h. Luas permukaan basin ( $A_s$ )

$$A_s = L \times W$$

$$A_s = 35 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$$

$$A_s = 52,5 \text{ m}^2 = 0,00525 \text{ Ha}$$

i. Pengecekan *hydraulic-loading rate* ( $L_w$ )

$$L_w = Q/A_s$$

$$L_w = (83 \text{ m}^3/\text{hari})/52,5 \text{ m}^2$$

$$L_w = 1,58 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari} = 158 \text{ cm}/\text{hari}$$

j. Pengecekan  $BOD_5$  loading rate

$$LBOD_5 = ((Q_{inf} \times BOD_{inf}) / A_s)$$

$$LBOD_5 = (85 \text{ m}^3/\text{hari} \times 41 \text{ mg/L}) / 52,5 \text{ m}^2$$

$$LBOD_5 = 0,066 \text{ Kg}/\text{m}^2.\text{hari}$$

k. Penyisihan suspended solid ( $SS$ ) untuk sistem SFS dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini (Sherwood C. Reed & Ronald W. Crites, 1995) :

$$C_e = C_o [ 0.1058 + 0.0011 (\text{HLR}) ]$$

Dimana :  $C_e$  = effluen TSS, mg/L

$$C_o = \text{influen TSS} = \text{effluen TSS Stage 2}$$

$$= 11,8 \text{ mg/L}$$

HLR = hydraulic-loading rate, cm/d

$$C_e = C_o [ 0.1058 + 0.0011 (\text{HLR}) ]$$

$$C_e = 11,8 \text{ mg/L } [ 0.1058 + 0.0011 (158 \text{ cm/hari}) ]$$

$$C_e = 3,35 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu)}$$

l. Jumlah tanaman

Ditentukan kerapatan tanaman = 3 setiap  $\text{m}^2$ , sehingga jumlah tanaman =  $A_s \times 3 = 52,5 \text{ m}^2 \times 3 = 158$  tanaman

m. Efisiensi Pengolahan Stage 3

Efisiensi pengolahan ditentukan dengan rumus berikut:  
 $(\text{Bod inf}-\text{BOD ef})/\text{BOD inf} \times 100\%$   
 $= (41 \text{ mg/L}-21\text{mg/L}) / 41 \text{ mg/L} \times 100\% = 49\%$

n. Debit Keluaran

Langkah selanjutnya menentukan debit keluaran atau  $Q_{\text{out}}$ , penentuan  $Q_{\text{out}}$  dari rumus berikut:

$$Q_{\text{out}} = Q_{\text{in}} - \text{ET} + \text{EP} + \text{P} + \text{I}$$

Dimana,

$Q_{\text{out}}$  = Debit keluaran dari wetland ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

$Q_{\text{in}}$  = 83  $\text{m}^3/\text{hari}$

ET = Evapotranspirasi tanaman ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

P = Presipitasi ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

I = Infiltrasi ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

*Constructed Wetland* pada umumnya dilapisi *clay*, liner sintetik, atau terbuat dari beton yang sifatnya meminimalkan infiltrasi, oleh karena itu infiltrasi diabaikan dan dianggap nol. (Minnesota Pollution Control Agency, 1989)

Evapotranspirasi tanaman bambu air diketahui sebesar 19 mm/hari (Tuttolomondo, 2014). Sementara untuk presipitasi rata-rata diambil dari curah hujan rata-rata Kota Surabaya, saat bulan hujan pada stasiun pemantauan Keputih wilayah Surabaya Timur. Data curah hujan Kota Surabaya dapat dilihat di lampiran 3. Sehingga diperoleh presipitasi rata-rata sebesar 14,5 mm/hari. Berikut perhitungan debit keluaran ( $Q_{\text{out}}$ )

ET = Evapotransporasi bambu air / 1000 x  $A_s$   
 $= 19 \text{ mm/hari} / 1000 \times 52,5 \text{ m}^2$

$$= 0,99 \text{ m}^3/\text{hari} \approx 1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

P = Presipitasi rata-rata / 1000 x  $A_s$

$$= 14,5 \text{ mm/hari} / 1000 \times 52,5 \text{ m}^2$$

$$= 0,76 \text{ m}^3/\text{hari}$$

I = 0

$$Q_{out} = 83 \text{ m}^3/\text{hari} - 1 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,76 \text{ m}^3/\text{hari} + 0$$

$$= 82,7 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Pengecekan *hydraulic-loading rate* seluruh sistem (Lw)

$$Lw = Q_{in}/\text{Total As}$$

$$Lw = (87 \text{ m}^3/\text{hari})/(90+90+52,5)\text{m}^2$$

$$Lw = (87 \text{ m}^3/\text{hari})/232,5 \text{ m}^2$$

$$Lw = 0,37 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari} = 37 \text{ cm}/\text{hari} \text{ (OK)}$$

Pengecekan BOD<sub>5</sub> loading rate

$$LBOD_5 = ((Q_{inf} \times BOD_{inf}) / As)$$

$$LBOD_5 = (85 \text{ m}^3/\text{hari} \times 126 \text{ mg/L}) / 232,5 \text{ m}^2$$

$$LBOD_5 = 460,6 \text{ Kg}/\text{Ha.hari} \text{ (OK)}$$

Pada *Stage 3* ini, *constructed wetland* menggunakan arah aliran vertikal, dimana media atau substrat dijaga tidak dalam keadaan jenuh melalui penggunaan pompa air yang memompa limbah cair dari bak pengumpul ke bagian substrat secara tidak terus-menerus. Prinsip kerja antara arah aliran vertikal maupun horizontal sama dalam pengolahan limbah cair, selain keadaan jenuh media, yang membedakan antara prinsip kerja arah aliran horizontal dan vertikal adalah penyusunan media.

Selanjutnya dirancang *perforated baffle* untuk diletakkan di awal unit CW pada masing-masing *stage*. *Perforated Baffle* ini bertujuan untuk menghindari dead zone pada unit CW, sehingga debit aliran dapat merata terdistribusi di seluruh unit CW untuk diolah.

*Stage dan 1 dan 2:*

$$\text{Panjang Baffle} = \text{Lebar Basin} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi Baffle} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Diameter lubang} = 0,1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar lubang} = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

*Stage 3:*

$$\text{Panjang Baffle} = \text{Lebar Basin} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar Baffle} = 1,15 \text{ m}$$

$$\text{Diameter lubang} = 0,1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar lubang} = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

### **Zona 3**

Desain dari sistem *Constructed Wetland* (CW) yang akan direncanakan pada Zona 3 adalah sistem *Subsurface Flow Constructed Wetland* (SFCW) dengan *single stage*.

#### **• Perhitungan SFCW**



Perhitungan didasarkan pada data berikut:

1. BOD influen ( $C_o$ ) = 126 mg/L
2. BOD efluen ( $C_e$ ) = 20 mg/L
3.  $Q_{in}$  = 81 m<sup>3</sup>/hari
4. Tipe vegetasi = *Cyperus papyrus*
5. Temperatur = 29 °C
6. Media basin = *Gravelly sand*
7. Slope basin = 0,01

- a. Kedalaman basin ( $d$ )

Kedalaman basin ditentukan berdasarkan jenis vegetasi yang akan digunakan pada sistem wetland yang direncanakan. Dalam hal ini, vegetasi yang akan digunakan adalah *Cyperus papyrus* yang mempunyai kemampuan penetrasi rizoma hingga sedalam 0,8 m. Oleh karena itu, kedalaman basin untuk perencanaan adalah sedalam 0,6 m yang merupakan kedalaman basin pada wetland umumnya.

- b. Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$

Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$  tergantung dari media yang digunakan, yaitu gravelly sand. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5 Karakteristik Tipikal Media Untuk SFS.

$$\alpha = 0,35$$

$$K_s = 1,640 \text{ ft}^3/\text{ft}^2 \cdot \text{hari} = 500 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$K_{20} = 0,86$$

- c.  $K_T$

Nilai  $K_T$  pada temperatur air sebesar 29°C dapat dihitung berdasarkan persamaan 2-2, yaitu :

$$K_T = K_{20} \times (1,1)^{(T-20)}, \text{ Temperatur dalam } ^\circ\text{C}$$

$$K_{29} = 0,86 \times (1,1)^{(29-20)}$$

$$K_{29} = 2 \text{ /hari}$$

- d. Waktu detensi pore-space ( $t'$ )

Nilai  $t'$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-1), yaitu :

$$t' = -\ln((20 \text{ mg/L}) / (126 \text{ mg/L})) / (2/\text{hari})$$

$$t' = -\ln(0,16) / (3,2/\text{hari})$$

$$t' = 0,9 \text{ hari}$$

- e. Cross sectional area ( $A_c$ )

$A_c$  diperoleh berdasarkan persamaan (2-3), yaitu :

$$A_c = Q / (k_s \cdot S)$$

$$A_c = 81 \text{ m}^3/\text{hari} / (500 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \times 0,01)$$

$$A_c = 16 \text{ m}^2$$

- f. Lebar basin (W)  
 Lebar basin (W) diperoleh dari perhitungan berikut ini:  
 $W = A_c/d$   
 $W = 16 \text{ m}^2/0,6 \text{ m}$   
 $W = 26,8 \text{ m}$ , dalam perencanaan ini W menjadi panjang basin (L). Dimensi yang dipakai = 27 m
- g. Panjang basin (L)  
 Panjang basin (L) diperoleh dari perhitungan berikut ini :  
 $L = (t \times Q) / (W \times d \times \alpha)$   
 $L = (0,9 \text{ hari}) \times (81 \text{ m}^3/\text{hari}) / (27 \text{ m}) \times (0,6 \text{ m}) \times (0,35)$   
 $L = 12,9 \text{ m}$ , dalam perencanaan ini L menjadi lebar basin dan dimensi yang dipakai 13 m
- h. Luas permukaan basin (As)  
 $As = L \times W$   
 $As = 27 \text{ m} \times 13 \text{ m}$   
 $As = 351 \text{ m}^2 = 0,0351 \text{ Ha}$
- i. Pengecekan *hydraulic-loading rate* (Lw)  
 $Lw = Q/As$   
 $Lw = (81 \text{ m}^3/\text{hari}) / 351 \text{ m}^2$   
 $Lw = 0,23 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari} = 23 \text{ cm}/\text{hari}$  **(OK)**
- j. Pengecekan BOD<sub>5</sub> loading rate  
 $LBOD_5 = (Q_{inf} \times BOD_{inf}) / As$   
 $LBOD_5 = (81 \text{ m}^3/\text{hari} \times 126 \text{ mg/L}) / 351 \text{ m}^2$   
 $LBOD_5 = 291 \text{ Kg}/\text{Ha.hari}$  **(OK)**
- k. Penyisihan suspended solid (SS) untuk sistem SFS dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini (Sherwood C. Reed & Ronald W. Crites, 1995) :
- $$Ce = Co [ 0.1058 + 0.0011 (HLR) ]$$
- Dimana :
- $Ce$  = efluen TSS, mg/L
  - $Co$  = influen TSS, mg/L = 264 mg/L
  - HLR = hydraulic-loading rate, cm/d
- $$Ce = Co [ 0.1058 + 0.0011 (HLR) ]$$
- $$Ce = 264 \text{ mg/L} [ 0.1058 + 0.0011 (23 \text{ cm}/\text{hari}) ]$$
- $$Ce = 35 \text{ mg/L} \text{ (memenuhi baku mutu)}$$
- l. Jumlah tanaman  
 Ditentukan kerapatan tanaman = 3 setiap m<sup>2</sup>, sehingga jumlah tanaman =  $As \times 3 = 351 \text{ m}^2 \times 3 = 1053$  tanaman.
- m. Efisiensi Pengolahan  
 Efisiensi pengolahan ditentukan dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} & (\text{Bod inf}-\text{BOD ef})/\text{BOD inf} \times 100\% \\ & = (126 \text{ mg/L}-20 \text{ mg/L})/126 \text{ mg/L} \times 100\% = 84\% \end{aligned}$$

n. Debit Keluaran

Langkah selanjutnya menentukan debit keluaran atau  $Q_{\text{out}}$ , penentuan  $Q_{\text{out}}$  dari rumus berikut:

$$Q_{\text{out}} = Q_{\text{in}} - \text{ET} + \text{EP} + \text{P} + \text{I}$$

Dimana,

$Q_{\text{out}}$  = Debit keluaran dari wetland ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

$Q_{\text{in}}$  = 81  $\text{m}^3/\text{hari}$

ET = Evapotranspirasi tanaman ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

P = Presipitasi ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

I = Infiltrasi ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

*Constructed Wetland* pada umumnya dilapisi *clay*, liner sintetik, atau terbuat dari beton yang sifatnya meminimalkan infiltrasi, oleh karena itu infiltrasi diabaikan dan dianggap nol. (Minnesota Pollution Control Agency, 1989)

Evapotranspirasi tanaman *Cyperus papyrus* diketahui sebesar 41,9 mm/hari (Tuttoolomondo, 2014). Sementara untuk presipitasi rata-rata diambil dari curah hujan rata-rata Kota Surabaya, saat bulan hujan pada stasiun pemantauan Keputih wilayah Surabaya Timur. Data curah hujan Kota Surabaya dapat dilihat di lampiran 3. Sehingga diperoleh presipitasi rata-rata sebesar 14,5 mm/hari. Berikut perhitungan debit keluaran ( $Q_{\text{out}}$ )

$$\begin{aligned} \text{ET} &= \text{Evapotransporasi } \textit{Cyperus papyrus} / 1000 \times \text{As} \\ &= 41,9 \text{ mm/hari} / 1000 \times 351 \text{ m}^2 \\ &= 14,7 \text{ m}^3/\text{hari} \approx 15 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{P} &= \text{Presipitasi rata-rata} / 1000 \times \text{As} \\ &= 14,5 \text{ mm/hari} / 1000 \times 351 \text{ m}^2 \\ &= 5 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\text{I} = 0$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{out}} &= 81 \text{ m}^3/\text{hari} - 15 \text{ m}^3/\text{hari} + 5 \text{ m}^3/\text{hari} + 0 \\ &= 71 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Pada Zona ini, *constructed wetland* menggunakan arah aliran horizontal, dimana media atau substrat dijaga dalam keadaan jenuh melalui pengaliran secara horizontal dan lambat.

#### 4.5.5 Bak Indikator dan Bak Penampung:

Bak indikator berfungsi sebagai uji kualitas effluent pengolahan limbah dengan indikator biologis. Indikator biologis yang dapat digunakan antara lain, ikan. Jika indikator biologis

tersebut dapat hidup dalam air hasil olahan limbah cair berarti kualitas effluen limbah bagus. Dan sebaliknya, jika indikator-indikator biologis tersebut tidak dapat bertahan hidup maka kualitas effluen bisa dinyatakan buruk dan unit CW harus dievaluasi.

Bak Penampung berfungsi menampung air olahan setelah diolah pada unit CW serta ditampung di bak indikator. Effluen ditampung di bak sebelum dialirkan ke badan air atau digunakan kembali oleh masyarakat. Pada perencanaan ini, desain bak indikator sama dengan bak penampung. Berikut perhitungan dimensi Bak Pengumpul untuk masing-masing zona

#### a. Zona 1

Direncanakan:

- Bak berbentuk segiempat
- Jumlah Bak =1
- Waktu Detensi/  $t_d$  (<10 menit) = 4 menit = 240 detik
- Kedalaman (H) = 0,5 m
- P:L = 2: 1
- $Q_{peak} = 98.042 \text{ L/hari} = 98 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,0011 \text{ m}^3/\text{detik}$

Maka,

$$\text{Volume (V)} = Q_{peak} \times T_d = (0,0011 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 4 \text{ menit} \\ = 0,27 \text{ m}^3$$

$$\text{Lebar (l)} = (V/H)^{0,5} = (0,27 \text{ m}^3/0,5 \text{ m})^{0,5} \\ = 0,52 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (P)} = 2 \times \text{lebar} = 2 \times 0,52 \text{ m} = 1,04 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A)} = P \times l = 0,52 \text{ m} \times 1,04 \text{ m} = 0,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Cek } T_d = V/Q_{peak} = 0,27 \text{ m}^3/(0,06 \text{ m}^3/\text{menit}) = 4 \text{ menit}$$

$$\text{H air saat } Q_{peak} = Q_{peak} \times T_d/A \\ = (0,0011 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60 \times 3 \text{ menit} / 0,5 \text{ m}^2) \\ = 0,54 \text{ m}$$

Sehingga, digunakan dimensi sebagai berikut:

$$\text{Panjang (P)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (l)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman (H)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard (Fb)} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Total H} = 0,8 \text{ m}$$

#### b. Zona 2

Direncanakan:

- Bak berbentuk segiempat

- Jumlah Bak =1
- Waktu Detensi/ td (<10 menit) = 4 menit = 240 detik
- Kedalaman (H) = 0,5 m
- P:L = 2: 1
- $Q_{\text{peak}} = 83.566 \text{ L/hari} = 84 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,001 \text{ m}^3/\text{detik}$

Maka,

$$\text{Volume (V)} = Q_{\text{peak}} \times T_d = (0,001 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 4 \text{ menit} \\ = 0,23 \text{ m}^3$$

$$\text{Lebar (l)} = (V/H)^{0,5} = (0,23 \text{ m}^3/0,5 \text{ m})^{0,5} \\ = 0,48 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (P)} = 2 \times \text{lebar} = 2 \times 0,48 \text{ m} = 0,96 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A)} = P \times l = 0,96 \text{ m} \times 0,48 \text{ m} = 0,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Cek } T_d = V/Q_{\text{peak}} = 0,23 \text{ m}^3/(0,06 \text{ m}^3/\text{menit}) = 4 \text{ menit}$$

$$\text{H air saat } Q_{\text{peak}} = Q_{\text{peak}} \times T_d/A \\ = (0,001 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60 \times 4 \text{ menit} / 0,5 \text{ m}^2 \\ = 0,46 \text{ m}$$

Sehingga, diperoleh dimensi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Panjang (P)} &= 1 \text{ m} \\ \text{Lebar (l)} &= 0,5 \text{ m} \\ \text{Kedalaman (H)} &= 0,5 \text{ m} \\ \text{Freeboard (Fb)} &= 0,3 \text{ m} \\ \text{Total H} &= 0,8 \text{ m} \end{aligned}$$

### c. Zona 3

Direncanakan:

- Bak berbentuk segiempat
- Jumlah Bak =1
- Waktu Detensi/ td (<10 menit) = 4 menit = 240 detik
- Kedalaman (H) = 0,5 m
- P:L = 2: 1
- $Q_{\text{peak}} = 70.867 \text{ L/hari} = 71 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,0008 \text{ m}^3/\text{detik}$

Maka,

$$\text{Volume (V)} = Q_{\text{peak}} \times T_d = (0,0008 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 4 \text{ menit} \\ = 0,19 \text{ m}^3$$

$$\text{Lebar (l)} = (V/H)^{0,5} = (0,19 \text{ m}^3/0,5 \text{ m})^{0,5} \\ = 0,44 \text{ m}$$

$$\text{Panjang (P)} = 2 \times \text{lebar} = 2 \times 0,44 \text{ m} = 0,89 \text{ m}$$

$$\text{Luas (A)} = P \times l = 0,89 \text{ m} \times 0,44 \text{ m} = 0,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Cek } T_d = V/Q_{\text{peak}} = 0,19 \text{ m}^3/(0,05 \text{ m}^3/\text{menit}) = 4 \text{ menit}$$

$$\begin{aligned}
 H \text{ air saat } Q_{\text{peak}} &= Q_{\text{peak}} \times T_d / A \\
 &= (0,0008 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60 \times 4 \text{ menit} / 0,5 \text{ m}^2 \\
 &= 0,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga, diperoleh dimensi sebagai berikut:

Panjang (P)	= 1 m
Lebar (l)	= 0,5 m
Kedalaman (H)	= 0,5 m
Freeboard (Fb)	= 0,3 m
Total H	= 0,8 m

#### 4.5.6 Perhitungan Removal tiap Parameter

Perhitungan removal tiap parameter berdasarkan persen removal atau efisiensi dari masing-masing unit *wetland* yang telah dihitung. Berikut perhitungannya disajikan dalam Tabel

**Tabel 4.4 Perhitungan % removal Zona 1**

Parameter	Konsentrasi	Stage 1		Stage 2		Stage 3		Ket.	Baku Mutu
		% removal	Konsentrasi	% removal	Konsentrasi	% removal	Konsentrasi		
		A	$C = A - (B/100 \times A)$	D	$E = C - (D/100 \times C)$	F	$G = E - (F/100 \times E)$		
TSS	264	33	178	32	121	55	55	Tidak Memenuhi	50
BOD	126	33	85	32	58	55	26	Memenuhi	30
COD	202	33	136	32	93	55	42	Memenuhi	50
Total Nitrogen	136	33	91	32	62	55	28	Memenuhi	30
Total Phosphorus	12	33	8	32	6	55	3	Tidak Memenuhi	1

Dari Tabel di atas, diketahui untuk parameter TSS dan Total P tidak memenuhi baku mutu. Akan tetapi berdasarkan rumus perhitungan Sherwood C. Reed & Ronald W. Crites, 1995, TSS telah memenuhi baku mutu (perhitungan dapat dilihat pada DED HCW Zona 1), yakni sebesar 6,5 mg/L. Sementara untuk Total P, diperlukan penelitian dan kajian literatur lebih lanjut terkait %removal Total P dengan mempertimbangkan sifat tanaman dengan menggunakan desain *Hybrid Constructed Wetland* (HCW).

**Tabel 4.5 Perhitungan % removal Zona 2**

Parameter	Konsentrasi	Stage 1		Stage 2		Stage 3		Ket.	Baku Mutu
		% removal	Konsentrasi	% removal	Konsentrasi	% removal	Konsentrasi		
		A	$C = A - (B/100 \times A)$	D	$E = C - (D/100 \times C)$	F	$G = E - (F/100 \times E)$		
TSS	264	33	178	52	86	49	44	Memenuhi	50
BOD	126	33	85	52	41	49	21	Memenuhi	30
COD	202	33	136	52	65	49	33	Memenuhi	50
Total Nitrogen	136	33	91	52	44	49	22	Memenuhi	30
Total Phosphorus	12	33	8	52	4	49	2	Tidak Memenuhi	1

Dari Tabel di atas, diketahui untuk parameter Total P tidak memenuhi baku mutu. Sehingga, diperlukan penelitian dan kajian literatur lebih lanjut terkait %removal Total P dengan mempertimbangkan sifat tanaman dengan menggunakan desain *Hybrid Constructed Wetland* (HCW).



**Tabel 4.6 Perhitungan % removal Zona 3**

Parameter	Konsentrasi	Stage 1		Ket.	Baku Mutu
		% removal	Konsentrasi		
	A	B	C= A-(B/100 x A)		
TSS	264	84	42	Memenuhi	50
BOD	126	84	20	Memenuhi	30
COD	202	84	32	Memenuhi	50
Total Nitrogen	136	84	22	Memenuhi	30
Total Phosphorus	12	84	2	Tidak Memenuhi	1

Dari Tabel di atas, diketahui untuk parameter Total P tidak memenuhi baku mutu. Sehingga, diperlukan penelitian dan kajian literatur lebih lanjut terkait %removal Total P dengan mempertimbangkan sifat tanaman dengan menggunakan desain *Hybrid Constructed Wetland* (HCW).

#### 4.6 Profil hidrolis

Profil hidrolis adalah gambaran perbandingan level muka air dengan elevasi tanah. Perhitungan headloss ekualisasi, *subsurface flow constructed wetland*, dan kolam penampung sebagai berikut:

##### 1. Pehitungan Bak Pengumpul

Perhitungan Headloss Bak Pengumpul dapat didapatkan dari persamaan manning. Perhitungan sebagai berikut:

Headloss karena kecepatan aliran di unit pengolahan dapat ditentukan dengan berdasarkan persamaan Darcy-Weisbach sebagai berikut :

$$H_f = f x \left( \frac{L v^2}{D \cdot 2g} \right)$$

Dengan :

hl = kehilangan tekanan (m)

f = koefisien

$$f = 1.5 \left( 0.01989 + \left( \frac{0.0005078}{4R} \right) \right)$$

L = panjang pipa (m)

V = kecepatan aliran (m/s)

D = Diameter pipa (m)

Perhitungan :

Diketahui :

L pipa = 2 m

Kecepatan aliran (v) = 1 m/s

Diameter pipa = 76 mm

Headloss kecepatan :

P (b) = 3.5 m

L (y) = 2 m

$$R = \frac{b \times y}{b + 2y}$$

$$= \frac{3.5 \times 2}{3.5 + 2.2}$$

$$= 0.9$$

$$f = 1.5 \left( 0.01989 + \left( \frac{0.0005078}{4R} \right) \right)$$

$$= 1.5 \left( 0.01989 + \left( \frac{0.0005078}{4 \cdot 0.9} \right) \right)$$

$$= 0.03$$

$$H_f = 0.03 \times \left( \frac{L v^2}{D \cdot 2g} \right)$$

$$= 0.03 \times \left( \frac{2.1^2}{0.076 \cdot 2.981} \right)$$

$$= 0.04 \text{ m}$$

2. *Hybrid constructed wetland* di hitung menggunakan rumus Darcy sebagai berikut:

$$W^2 = \frac{As \times Q}{K \times Dw \times dh}$$

Dimana :

W = lebar (m)

Q = Debit ( m<sup>3</sup>/hari)

$A_s$  = Luas Pemukaan ( $m^2$ )  
 $K$  = *Hydraulic conductivity* ( $m^3/m^2 \cdot \text{hari}$ )  
 (*Medium sand : 500 dan Medium Gravel : 10000*)  
 $D_w$  = Kedalaman (m)  
 $D_h$  = Headloss (m)

Besar *headloss* pada media *HCW Stage 1* adalah :

$$\begin{aligned}
 W^2 &= \frac{A_s \times Q}{K \times D_w \times d_h} \\
 d_h &= \frac{52,5 \times 101}{500 \times 0,6 \times 35^2} \\
 d_h &= 0,014 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Selain dengan media tanam tumbuhan, *Constructed wetland* juga terdapat penyangga di sisi inlet dan outlet media dengan menggunakan *medium gravel* dengan panjang 1 m.

Besar *headloss* pada media Penyangga *Constructed wetland* adalah:

$$\begin{aligned}
 W^2 &= \frac{A_s \times Q}{K \times D_w \times d_h} \\
 d_h &= \frac{52,5 \times 101}{1000 \times 0,6 \times 35^2} \\
 d_h &= 0,0072 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Total *headloss* yang terjadi pada media unit *HCW Stage 1 Zona 1* adalah sebagai berikut:

Total *Headloss* = *Headloss* pada penyangga inlet + *Headloss* media tanam + *headloss* pada penyangga outlet

$$\begin{aligned}
 \text{Total Headloss} &= 0,0072 + 0,014 + 0,0072 \\
 &= 0,028 \text{ m} \\
 &= 2,84 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan *headloss* pada media unit *HCW Stage 2 Zona 1* dan seterusnya menggunakan rumus dan cara yang sama.

Berikut hasil perhitungannya:

Total *headloss* yang terjadi pada media unit *HCW Stage 2 Zona 1* adalah sebagai berikut:

Total *Headloss* = *Headloss* pada penyangga inlet + *Headloss* media tanam + *headloss* pada penyangga outlet

$$\text{Total Headloss} = 0,0072 + 0,014 + 0,0072$$

$$= 0.028 \text{ m}$$

$$= 2,84 \text{ cm}$$

Total *headloss* yang terjadi pada media unit *HCW Stage 3 Zona 1* adalah sebagai berikut:

Total *Headloss* = *Headloss* pada penyangga inlet + *Headloss* media tanam + *headloss* pada penyangga outlet

$$\text{Total Headloss} = 0.0072 + 0.008 + 0.0072$$

$$= 0.020 \text{ m}$$

$$= 2,0 \text{ cm}$$

Total *headloss* yang terjadi pada media unit *HCW Stage 1 Zona 2* adalah sebagai berikut:

Total *Headloss* = *Headloss* pada penyangga inlet + *Headloss* media tanam + *headloss* pada penyangga outlet

$$\text{Total Headloss} = 0.0072 + 0.014 + 0.0072$$

$$= 0.028 \text{ m}$$

$$= 2,84 \text{ cm}$$

Total *headloss* yang terjadi pada media unit *HCW Stage 2 Zona 2* adalah sebagai berikut:

Total *Headloss* = *Headloss* pada penyangga inlet + *Headloss* media tanam + *headloss* pada penyangga outlet

$$\text{Total Headloss} = 0.0072 + 0.0287 + 0.0072$$

$$= 0.043 \text{ m}$$

$$= 4,3 \text{ cm}$$

Total *headloss* yang terjadi pada media unit *HCW Stage 3 Zona 2* adalah sebagai berikut:

Total *Headloss* = *Headloss* pada penyangga inlet + *Headloss* media tanam + *headloss* pada penyangga outlet

$$\text{Total Headloss} = 0.0072 + 0.011 + 0.0072$$

$$= 0.025 \text{ m}$$

$$= 2,54 \text{ cm}$$

Total *headloss* yang terjadi pada media unit *Subsurface Flow Constructed Wetland* adalah sebagai berikut:

Total *Headloss* = *Headloss* pada penyangga inlet + *Headloss* media tanam + *headloss* pada penyangga outlet

$$\text{Total Headloss} = 0.0072 + 0.065 + 0.0072$$

$$= 0.079 \text{ m}$$

$$= 7,9 \text{ cm}$$

### 3. Bak Indikator dan Bak Penampung

Headloss jatuhan dan belokan di dasarkan pada rumus manning, Aliran air yang masuk pada pipa inlet memiliki headloss akibat adanya jatuhan dan belokan aliran air dalam bangunan (krida,2015):

$$H_f = \left( \frac{v \cdot n}{1.49 R^{2/3}} \right)^2 \cdot L$$

Keterangan :

V = kecepatan (m/s)  
n = nilai kekasaran (beton : 0.015)  
R = jari-jari hidrolis  
L = panjang jatuhan / belokan

$$\begin{aligned} P(b) &= 2 \text{ m} \\ L(y) &= 2 \text{ m} \\ R &= \frac{b \times y}{b + 2y} \\ &= \frac{2 \times 2}{2 + 2.2} \\ &= 0.67 \end{aligned}$$

Perhitungan :

L jatuhan : 1 m

L belokan : 2 m

$$\begin{aligned} H_f \text{ jatuhan} &= \left( \frac{v \cdot n}{1.49 R^{2/3}} \right)^2 \cdot L \\ H_f \text{ jatuhan} &= \left( \frac{1 \cdot 0.015}{1.49 \cdot 0.67^{2/3}} \right)^2 \cdot 1 \\ &= 0.010252 \text{ m} \\ H_f \text{ belokan} &= \left( \frac{1 \cdot 0.015}{1.49 \cdot 0.67^{2/3}} \right)^2 \cdot 2 \\ &= 0.0205 \text{ m} \end{aligned}$$

## 4.7 BOQ dan RAB

### 4.7.1 BOQ

Tahap akhir dari suatu perencanaan adalah penyusunan *Bill of Quantity* dan Rencana Anggaran Biaya. *Bill of Quantity* (BOQ) merupakan perincian dari seluruh peralatan dan pekerjaan yang dibutuhkan di dalam suatu perencanaan. Perhitungan BOQ pada perencanaan ini meliputi BOQ urugan pasir, BOQ beton, BOQ urugan tanah, BOQ pasir, BOQ kerikil, dan BOQ tanaman.

#### Zona 1: Hybrid Constructed Wetland (HCW)

##### a. BOQ pekerjaan penggalian tanah

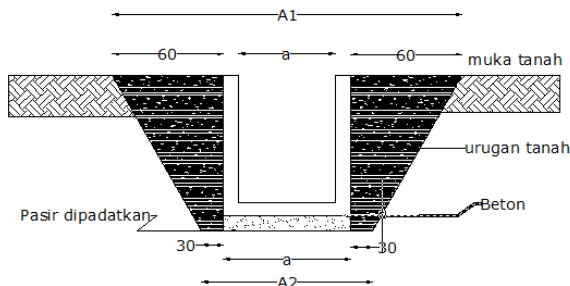
Tanah untuk bangunan galian akan digali dengan bentuk tampak samping trapezium, dimana volume galian dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Volume galian} = \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$

y = kedalaman bangunan + tebal pasir (10 cm)

L = panjang bangunan pengolahan

Volume yang terbangun = As bangunan x y



**Gambar 4.17** Tipikal ukuran galian

- Perhitungan volume galian tanah bak pengumpul  
Volume galian tanah bak pengumpul:  
$$= \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$
$$= \frac{1}{2} \times (0,6 + 0,6 + 1,3) \text{ m} \times (0,3 + 0,3 + 1,3) \text{ m} \times 1,05 \text{ m} \times 2,1 \text{ m}$$
$$= 4,9 \text{ m}^3$$
- Perhitungan volume galian tanah HCW stage 1  
Volume galian tanah HCW stage 1:

$$= \frac{1}{2} \times (A_1 + A_2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times ((0,6+0,6+1,8)m+(0,3+0,3+1,8)m) \times 1,05 \text{ m} \times 35,15 \text{ m}$$

$$= 99,7 \text{ m}^3$$

- Perhitungan volume galian tanah HCW stage 2

Volume galian tanah HCW stage 2:

$$= \frac{1}{2} \times (A_1 + A_2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times ((0,6+0,6+1,8)m+(0,3+0,3+1,8)m) \times 1,05 \text{ m} \times 35,15 \text{ m}$$

$$= 99,7 \text{ m}^3$$

- Perhitungan volume galian tanah HCW stage 3

Volume galian tanah HCW stage 3:

$$= \frac{1}{2} \times (A_1 + A_2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times ((0,6+0,6+2,3)m+(0,3+0,3+2,3)m) \times 1,05 \text{ m} \times 40,3 \text{ m}$$

$$= 135,4 \text{ m}^3$$

- Perhitungan volume galian tanah Bak Kontrol

Volume galian tanah Bak Kontrol:

$$= \frac{1}{2} \times (A_1 + A_2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times ((0,6+0,6+1,3)m+(0,3+0,3+1,3)m) \times 1,05 \text{ m} \times 0,65 \text{ m}$$

$$= 1,5 \text{ m}^3$$

- Perhitungan volume galian tanah Bak Penampung

Volume galian tanah Bak Penampung:

$$= \frac{1}{2} \times (A_1 + A_2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times ((0,6+0,6+1,3)m+(0,3+0,3+1,3)m) \times 1,05 \text{ m} \times 0,65 \text{ m}$$

$$= 1,5 \text{ m}^3$$

Jadi, volume total galian tanah =  $4,9 \text{ m}^3 + 99,7 \text{ m}^3 + 99,7 \text{ m}^3 + 135,4 \text{ m}^3 + 1,5 \text{ m}^3 + 1,5 \text{ m}^3 = 342,6 \text{ m}^3$

- BOQ pekerjaan pengurugan pasir yang dipadatkan

Volume pasir urug yang dipadatkan = As bangunan x tebal pasir

Direncanakan tebal pasir 10 cm

- Perhitungan pasir urug Bak Pengumpul

Volume pasir urug Bak Pengumpul

$$= \text{As bangunan} \times \text{tebal pasir}$$

$$= (1,3 \times 2,1) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,273 \text{ m}^3$$

- Perhitungan pasir urug HCW Stage 1

Volume pasir urug HCW Stage 1

$$= \text{As bangunan} \times \text{tebal pasir}$$

$$= (1,8 \times 35,15) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 6,327 \text{ m}^3$$

- Perhitungan pasir urug HCW Stage 2

Volume pasir urug HCW Stage 2

- = As bangunan x tebal pasir
- =  $(1,8 \times 35,15) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 6,327 \text{ m}^3$
- Perhitungan pasir urug HCW Stage 3
- Volume pasir urug HCW Stage 3
- = As bangunan x tebal pasir
- =  $(2,3 \times 40,3 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 9,3 \text{ m}^3$
- Perhitungan pasir urug Bak Kontrol
- Volume pasir urug Bak Kontrol
- = As bangunan x tebal pasir
- =  $(1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,0845 \text{ m}^3$
- Perhitungan pasir urug Bak Penampung
- Volume pasir urug Bak Penampung
- = As bangunan x tebal pasir
- =  $(1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,0845 \text{ m}^3$
- Jadi, volume total pasir urug =  $0,273 \text{ m}^3 + 6,327 \text{ m}^3 + 9,3 \text{ m}^3 + 0,0845 \text{ m}^3 + 0,0845 \text{ m}^3 = 22,365 \text{ m}^3$

c. BOQ Pekerjaan Beton

- Perhitungan lantai kerja beton
- Direncanakan lantai kerja beton setebal 15 cm.
- Volume lantai kerja beton = AS bangunan x tebal beton
- Volume lantai kerja bak pengumpul
- = As bangunan x tebal beton
- =  $(1,3 \times 2,1) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,41 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja beton HCW *stage 1*
- = As bangunan x tebal beton
- =  $(1,8 \times 35,15) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 9,49 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja beton HCW *stage 2*
- = As bangunan x tebal beton
- =  $(1,8 \times 35,15) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 9,49 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja beton HCW *stage 3*
- = As bangunan x tebal beton
- =  $(2,3 \times 40,3) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 13,9 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja bak kontrol
- = As bangunan x tebal beton
- =  $(1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,13 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja bak penampung
- = As bangunan x tebal beton
- =  $(1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,13 \text{ m}^3$



Volume total lantai kerja beton =  $0,41 \text{ m}^3 + 9,49 \text{ m}^3 + 9,49 \text{ m}^3 + 13,9 \text{ m}^3 + 0,13 \text{ m}^3 + 0,13 \text{ m}^3 = 33,5475 \text{ m}^3$

- Perhitungan dinding beton

Perhitungan volume dinding beton dengan rumus:

Volume dinding beton = volume luar – volume dalam

Dimana:

Volume luar = Volume bangunan beserta dinding

Volume dalam = Volume bangunan tanpa dinding

- Volume dinding beton bak pengumpul  
Volume luar – volume dalam  
 $= (((1,3 \text{ m} \times 2,1 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (1 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 1,15 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton HCW Stage 1  
Volume luar – volume dalam  
 $= (((1,8 \text{ m} \times 35,15 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (1,5 \text{ m} \times 35 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 18,1 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton HCW Stage 2  
Volume luar – volume dalam  
 $= (((1,8 \text{ m} \times 35,15 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (1,5 \text{ m} \times 35 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 18,1 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton HCW Stage 3  
Volume luar – volume dalam  
 $= (((2,3 \text{ m} \times 40,3 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (2 \text{ m} \times 40 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 24 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton Bak Kontrol  
Volume luar – volume dalam  
 $= (((0,65 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (0,5 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 0,4 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton Bak Penampung  
Volume luar – volume dalam  
 $= (((0,65 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (0,5 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 0,4 \text{ m}^3$

Volume total dinding beton =  $1,15 \text{ m}^3 + 18,1 \text{ m}^3 + 18,1 \text{ m}^3 + 24 \text{ m}^3 + 0,4 \text{ m}^3 + 0,4 \text{ m}^3 = 62,23 \text{ m}^3$

Jadi, total volume pekerjaan beton =  $33,5475 \text{ m}^3 + 62,23 \text{ m}^3 = 95,775 \text{ m}^3$  + total pondasi ( $0,432 \text{ m}^3$ ) =  $95,775 \text{ m}^3 + 0,432 \text{ m}^3 = 96,2 \text{ m}^3$

d. BOQ Pengurukan tanah kembali

Volume urugan tanah dihitung menggunakan rumus:

Volume urugan tanah = Volume galian – volume terbangun

- Perhitungan urugan tanah bak pengumpul  
= volume galian – volume yang terbangun  
= 2,3 m<sup>3</sup>
- Perhitungan urugan tanah HCW Stage 1  
= volume galian – volume yang terbangun  
= 39,5 m<sup>3</sup>
- Perhitungan urugan tanah HCW Stage 2  
= volume galian – volume yang terbangun  
= 39,5 m<sup>3</sup>
- Perhitungan urugan tanah HCW Stage 3  
= volume galian – volume yang terbangun  
= 47,4 m<sup>3</sup>
- Perhitungan urugan tanah Bak indikator  
= volume galian – volume yang terbangun  
= 0,7 m<sup>3</sup>
- Perhitungan urugan tanah Bak penampung  
= volume galian – volume yang terbangun  
= 0,7 m<sup>3</sup>

Jadi, volume total urugan tanah = (2,3 m<sup>3</sup>+39,5 m<sup>3</sup>+39,5 m<sup>3</sup>+47,4 m<sup>3</sup>+0,7 m<sup>3</sup>+0,7 m<sup>3</sup>) = 130,1 m<sup>3</sup>

- BOQ pasir, kerikil, dan tanaman pada HCW
  - Volume pasir  
Volume pasir stage 1 + Volume pasir stage 2 + Volume pasir stage 3 = 29,43 m<sup>3</sup>+29,43 m<sup>3</sup>+45,24 m<sup>3</sup>=104,1 m<sup>3</sup>
  - Volume kerikil  
Volume kerikil = Volume kerikil stage 1 + Volume kerikil stage 2 + Volume kerikil stage 3 = 2,3 m<sup>3</sup>+2,3 m<sup>3</sup>+3,22 m<sup>3</sup>=7,735 m<sup>3</sup>
  - Tanaman
 

Stage 1 (Bambu Air)	= 158
Stage 2 ( <i>Canna</i> )	= 158
Stage 3 ( <i>Cyperus papyrus</i> )	= 240

### Zona 2: Hybrid Constructed Wetland (HCW)

e. BOQ pekerjaan penggalian tanah

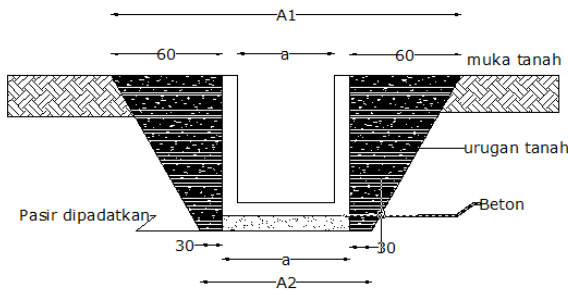
Tanah untuk bangunan galian akan digali dengan bentuk tampak samping trapezium, dimana volume galian dapat dihitung sebagai berikut:

Volume galian =  $\frac{1}{2} \times (A1+A2) \times y \times L$

y = kedalaman bangunan + tebal pasir (10 cm)

L = panjang bangunan pengolahan

Volume yang terbangun = As bangunan x y



**Gambar 4.18 Tipikal ukuran galian**

- Perhitungan volume galian tanah bak pengumpul

Volume galian tanah bak pengumpul:

$$= \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times ((0,6+0,6+1,3)m+(0,3+0,3+1,3)m) \times 1,05 \text{ m} \times 2,1 \text{ m}$$

$$= 4,9 \text{ m}^3$$

- Perhitungan volume galian tanah HCW stage 1

Volume galian tanah HCW stage 1:

$$= \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times ((0,6+0,6+3,3)m+(0,3+0,3+3,3)m) \times 1,05 \text{ m} \times 30,15 \text{ m}$$

$$= 133 \text{ m}^3$$

- Perhitungan volume galian tanah HCW stage 2

Volume galian tanah HCW stage 2:

$$= \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times ((0,6+0,6+3,3)m+(0,3+0,3+3,3)m) \times 1,05 \text{ m} \times 30,15 \text{ m}$$

$$= 133 \text{ m}^3$$

- Perhitungan volume galian tanah HCW stage 3

Volume galian tanah HCW stage 3:

$$= \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times ((0,6+0,6+1,8)\text{m}+(0,3+0,3+1,8)\text{m}) \times 1,05 \text{ m} \times 35,3 \text{ m}$$

$$= 100,1 \text{ m}^3$$

- Perhitungan volume galian tanah Bak Kontrol

Volume galian tanah Bak Kontrol:

$$= \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times ((0,6+0,6+1,3)\text{m}+(0,3+0,3+1,3)\text{m}) \times 1,05 \text{ m} \times 0,65 \text{ m}$$

$$= 1,5 \text{ m}^3$$

- Perhitungan volume galian tanah Bak Penampung

Volume galian tanah Bak Penampung:

$$= \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times ((0,6+0,6+1,3)\text{m}+(0,3+0,3+1,3)\text{m}) \times 1,05 \text{ m} \times 0,65 \text{ m}$$

$$= 1,5 \text{ m}^3$$

Jadi, volume total galian tanah =  $4,9 \text{ m}^3 + 133 \text{ m}^3 + 133 \text{ m}^3 + 100,1 \text{ m}^3 + 1,5 \text{ m}^3 + 1,5 \text{ m}^3 = 373,9 \text{ m}^3$

- f. BOQ pekerjaan pengurugan pasir yang dipadatkan

Volume pasir urug yang dipadatkan = As bangunan x tebal pasir

Direncanakan tebal pasir 10 cm

- Perhitungan pasir urug Bak Pengumpul

Volume pasir urug Bak Pengumpul

= As bangunan x tebal pasir

$$= (1,3 \times 2,1) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,273 \text{ m}^3$$

- Perhitungan pasir urug HCW Stage 1

Volume pasir urug HCW Stage 1

= As bangunan x tebal pasir

$$= (3,3 \times 30,15) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 9,95 \text{ m}^3$$

- Perhitungan pasir urug HCW Stage 2

Volume pasir urug HCW Stage 2

= As bangunan x tebal pasir

$$= (3,3 \times 30,15) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 9,95 \text{ m}^3$$

- Perhitungan pasir urug HCW Stage 3

Volume pasir urug HCW Stage 3

= As bangunan x tebal pasir

$$= (1,8 \times 35,3 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}) = 6,4 \text{ m}^3$$

- Perhitungan pasir urug Bak Kontrol

Volume pasir urug Bak Kontrol

= As bangunan x tebal pasir

$$= (1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,0845 \text{ m}^3$$

- Perhitungan pasir urug Bak Penampung

Volume pasir urug Bak Penampung

= As bangunan x tebal pasir

$$= (1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,0845 \text{ m}^3$$

$$\text{Jadi, volume total pasir urug} = 0,273 \text{ m}^3 + 9,95 \text{ m}^3 + 9,95 \text{ m}^3 + 6,4 \text{ m}^3 + 0,0845 \text{ m}^3 + 0,0845 \text{ m}^3 = 26,7 \text{ m}^3$$

g. BOQ Pekerjaan Beton

- Perhitungan lantai kerja beton

Direncanakan lantai kerja beton setebal 15 cm.

Volume lantai kerja beton = AS bangunan x tebal beton

- Volume lantai kerja bak pengumpul  
= As bangunan x tebal beton  
 $= (1,3 \times 2,1) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,41 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja beton *HCW stage 1*  
= As bangunan x tebal beton  
 $= (3,3 \times 30,15) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 14,9 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja beton *HCW stage 2*  
= As bangunan x tebal beton  
 $= (3,3 \times 30,15) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 14,9 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja beton *HCW stage 3*  
= As bangunan x tebal beton  
 $= (1,8 \times 35,3) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 9,5 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja bak kontrol  
= As bangunan x tebal beton  
 $= (1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,13 \text{ m}^3$
- Volume lantai kerja bak penampung  
= As bangunan x tebal beton  
 $= (1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,13 \text{ m}^3$

$$\text{Volume total lantai kerja beton} = 0,41 \text{ m}^3 + 14,9 \text{ m}^3 + 14,9 \text{ m}^3 + 9,5 \text{ m}^3 + 0,13 \text{ m}^3 + 0,13 \text{ m}^3 = 40,0425 \text{ m}^3$$

- Perhitungan dinding beton

Perhitungan volume dinding beton dengan rumus:

Volume dinding beton = volume luar – volume dalam

Dimana:

Volume luar = Volume bangunan beserta dinding

Volume dalam = Volume bangunan tanpa dinding

- Volume dinding beton bak pengumpul  
Volume luar – volume dalam  
 $= (((1,3 \text{ m} \times 2,1 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (1 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 1,15 \text{ m}^3$

- Volume dinding beton HCW *Stage 1*  
 Volume luar – volume dalam  
 $=(((3,3 \text{ m} \times 30,15 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (3 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 22,5 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton HCW *Stage 2*  
 Volume luar – volume dalam  
 $=(((3,3 \text{ m} \times 30,15 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (3 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 22,5 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton HCW *Stage 3*  
 Volume luar – volume dalam  
 $=(((1,8 \text{ m} \times 35,3 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (1,5 \text{ m} \times 35 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 18,4 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton Bak Kontrol  
 Volume luar – volume dalam  
 $=(((0,65 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (0,5 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 0,4 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton Bak Penampung  
 Volume luar – volume dalam  
 $=(((0,65 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (0,5 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 0,4 \text{ m}^3$

Volume total dinding beton =  $1,15 \text{ m}^3 + 22,5 \text{ m}^3 + 22,5 \text{ m}^3 + 18,4 \text{ m}^3 + 0,4 \text{ m}^3 + 0,4 \text{ m}^3 = 65,4 \text{ m}^3$

Jadi, total volume pekerjaan beton =  $40,0425 \text{ m}^3 + 65,4 \text{ m}^3$   
 $= 105,405 \text{ m}^3 + \text{total pondasi } (0,432 \text{ m}^3) = 105,405 \text{ m}^3 + 0,432 \text{ m}^3 = 106 \text{ m}^3$

h. BOQ Pengurukan tanah kembali

Volume urugan tanah dihitung menggunakan rumus:

Volume urugan tanah = Volume galian – volume terbangun

- Perhitungan urugan tanah bak pengumpul  
 = volume galian – volume yang terbangun  
 $= 2,3 \text{ m}^3$
- Perhitungan urugan tanah HCW *Stage 1*  
 = volume galian – volume yang terbangun  
 $= 38,4 \text{ m}^3$
- Perhitungan urugan tanah HCW *Stage 2*  
 = volume galian – volume yang terbangun  
 $= 38,4 \text{ m}^3$
- Perhitungan urugan tanah HCW *Stage 3*  
 = volume galian – volume yang terbangun

- =39,7 m<sup>3</sup>
- Perhitungan urugan tanah Bak indikator  
= volume galian – volume yang terbangun  
=0,7 m<sup>3</sup>
- Perhitungan urugan tanah Bak penampung  
= volume galian – volume yang terbangun  
=0,7 m<sup>3</sup>
- Jadi, volume total urugan tanah = (2,3 m<sup>3</sup>+38,4 m<sup>3</sup>+39,7 m<sup>3</sup>+0,7 m<sup>3</sup>+0,7 m<sup>3</sup>) = 120,3 m<sup>3</sup>
- BOQ pasir, kerikil, dan tanaman pada HCW
  - Volume pasir  
Volume pasir stage 1 + Volume pasir stage 2 + Volume pasir stage 3 = 0 m<sup>3</sup>+49,86 m<sup>3</sup>+29,43 m<sup>3</sup>=79,3 m<sup>3</sup>
  - Volume kerikil  
Volume kerikil = Volume kerikil stage 1 + Volume kerikil stage 2 + Volume kerikil stage 3 = 54,375 m<sup>3</sup>+4,515 m<sup>3</sup>+2,415 m<sup>3</sup>=61,3m<sup>3</sup>
  - Tanaman
    - Stage 1 (Bambu Air) = 270
    - Stage 2 (*Canna*) = 270
    - Stage 3 (*Cyperus papyrus*) = 158

### Zona 3 : Sub-Surface Flow Constructed Wetland (SSFCW)

#### i. BOQ pekerjaan penggalian tanah

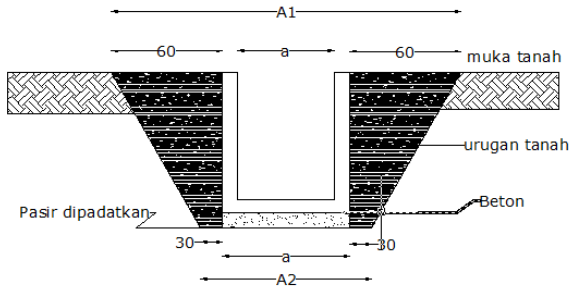
Tanah untuk bangunan galian akan digali dengan bentuk tampak samping trapezium, dimana volume galian dapat dihitung sebagai berikut:

Volume galian =  $\frac{1}{2} \times (A_1+A_2) \times y \times L$

y = kedalaman bangunan + tebal pasir (10 cm)

L = panjang bangunan pengolahan

Volume yang terbangun = As bangunan x y



**Gambar 4.19 Tipikal ukuran galian**

- Perhitungan volume galian tanah bak pengumpul  
Volume galian tanah bak pengumpul:  

$$= \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times (0,6+0,6+1,3)m+(0,3+0,3+1,3)m \times 1,05 \text{ m} \times 2,1 \text{ m}$$

$$= 4,9 \text{ m}^3$$
  - Perhitungan volume galian tanah SSFCW  
Volume galian tanah SSFCW  

$$= \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times (0,6+0,6+13,3)m+(0,3+0,3+13,3)m \times 1,05 \text{ m} \times 27,3 \text{ m}$$

$$= 407 \text{ m}^3$$
  - Perhitungan volume galian tanah Bak Kontrol  
Volume galian tanah Bak Kontrol:  

$$= \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times (0,6+0,6+1,3)m+(0,3+0,3+1,3)m \times 1,05 \text{ m} \times 0,65 \text{ m}$$

$$= 1,5 \text{ m}^3$$
  - Perhitungan volume galian tanah Bak Penampung  
Volume galian tanah Bak Penampung:  

$$= \frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times (0,6+0,6+1,3)m+(0,3+0,3+1,3)m \times 1,05 \text{ m} \times 0,65 \text{ m}$$

$$= 1,5 \text{ m}^3$$

Jadi, volume total galian tanah =  $4,9 \text{ m}^3 + 407 \text{ m}^3 + 1,5 \text{ m}^3 + 1,5 \text{ m}^3 = 415 \text{ m}^3$
- j. BOQ pekerjaan pengurugan pasir yang dipadatkan



Volume pasir urug yang dipadatkan = As bangunan x tebal pasir

Direncanakan tebal pasir 10 cm

- Perhitungan pasir urug Bak Pengumpul

Volume pasir urug Bak Pengumpul

= As bangunan x tebal pasir

$$= (1,3 \times 2,1) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,273 \text{ m}^3$$

- Perhitungan pasir urug HCW Stage 1

Volume pasir urug SSFCW

= As bangunan x tebal pasir

$$= (13,3 \times 27,3) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 36,3 \text{ m}^3$$

- Perhitungan pasir urug Bak Kontrol

Volume pasir urug Bak Kontrol

= As bangunan x tebal pasir

$$= (1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,0845 \text{ m}^3$$

- Perhitungan pasir urug Bak Penampung

Volume pasir urug Bak Penampung

= As bangunan x tebal pasir

$$= (1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,1 \text{ m} = 0,0845 \text{ m}^3$$

Jadi, volume total pasir urug =  $0,273 \text{ m}^3 + 36,3 \text{ m}^3 + 0,0845 \text{ m}^3 + 0,0845 \text{ m}^3 = 36,75 \text{ m}^3$

k. BOQ Pekerjaan Beton

- Perhitungan lantai kerja beton

Direncanakan lantai kerja beton setebal 15 cm.

Volume lantai kerja beton = AS bangunan x tebal beton

- Volume lantai kerja bak pengumpul

= As bangunan x tebal beton

$$= (1,3 \times 2,1) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,41 \text{ m}^3$$

- Volume lantai kerja beton SSFCW

= As bangunan x tebal beton

$$= (13,3 \times 27,3) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 54,5 \text{ m}^3$$

- Volume lantai kerja bak kontrol

= As bangunan x tebal beton

$$= (1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,13 \text{ m}^3$$

- Volume lantai kerja bak penampung

= As bangunan x tebal beton

$$= (1,3 \times 0,65) \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,13 \text{ m}^3$$

Volume total lantai kerja beton =  $0,41 \text{ m}^3 + 54,5 \text{ m}^3 + 0,13 \text{ m}^3 + 0,13 \text{ m}^3 = 55,13 \text{ m}^3$

- Perhitungan dinding beton

Perhitungan volume dinding beton dengan rumus:

Volume dinding beton = volume luar – volume dalam

Dimana:

Volume luar = Volume bangunan beserta dinding

Volume dalam = Volume bangunan tanpa dinding

- Volume dinding beton bak pengumpul  
Volume luar – volume dalam  
 $=(((1,3 \text{ m} \times 2,1 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (1 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 1,15 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton SSFCW  
Volume luar – volume dalam  
 $=(((13,3 \text{ m} \times 27,3 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (13 \text{ m} \times 327 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 64,14 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton Bak Kontrol  
Volume luar – volume dalam  
 $=(((0,65 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (0,5 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 0,4 \text{ m}^3$
- Volume dinding beton Bak Penampung  
Volume luar – volume dalam  
 $=(((0,65 \text{ m} \times 1,3 \text{ m}) \times 0,95 \text{ m}) - (0,5 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}))$   
 $= 0,4 \text{ m}^3$

Volume total dinding beton =  $1,15 \text{ m}^3 + 64,14 \text{ m}^3 + 0,4 \text{ m}^3 + 0,4 \text{ m}^3 = 66,1 \text{ m}^3$

Jadi, total volume pekerjaan beton =  $55,13 \text{ m}^3 + 66,1 \text{ m}^3 = 121,22 \text{ m}^3$   
 $\text{m}^3 + \text{total pondasi } (0,432 \text{ m}^3) = 121,22 \text{ m}^3 + 0,432 \text{ m}^3 = 121,7 \text{ m}^3$

I. BOQ Pengurukan tanah kembali

Volume urugan tanah dihitung menggunakan rumus:

Volume urugan tanah = Volume galian – volume terbangun

- Perhitungan urugan tanah bak pengumpul  
= volume galian – volume yang terbangun  
 $= 2,3 \text{ m}^3$
- Perhitungan urugan tanah SSFCW  
= volume galian – volume yang terbangun  
 $= 62,1 \text{ m}^3$
- Perhitungan urugan tanah Bak indikator  
= volume galian – volume yang terbangun  
 $= 0,7 \text{ m}^3$

- Perhitungan urugan tanah Bak penampung  
= volume galian – volume yang terbangun  
= 0,7 m<sup>3</sup>  
Jadi, volume total urugan tanah = (2,3 m<sup>3</sup> + 62,1 m<sup>3</sup> + 0,7 m<sup>3</sup> + 0,7 m<sup>3</sup>) = 65,8 m<sup>3</sup>
- BOQ pasir, kerikil, dan tanaman pada SSFCW
  - Volume kerikil  
Volume kerikil = 208 m<sup>3</sup>
  - Tanaman  
(*Cyperus papyrus*) = 1053

#### 4.7.2 RAB

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan hasil perkalian antara volume satuan pekerjaan (BOQ) dengan harga satuan yang telah dikalikan dengan indeks yang telah ditetapkan dalam peraturan. Harga satuan yang digunakan adalah harga satuan tahun 2015 perubahan 1 wilayah Surabaya. Perhitungan RAB dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.7 RAB ZONA 1**

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	Vol.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
<b>I</b>	<b>PEKERJAAN PENGGAJIAN TANAH BIASA</b>					
A	UPAH					
1	Mandor	OH	343	0.025	Rp120,000	Rp1,027,688
2	Pembantu Tukang	OH	343	0.75	Rp99,000	Rp25,435,266
	Sub Jumlah					Rp26,462,953
<b>II</b>	<b>PEKERJAAN PENGURUGAN PASIR DENGAN PEMADATAN</b>					
A	BAHAN					
1	Pasir urug	m <sup>3</sup>	22	1.2	Rp143,500	Rp3,851,253
B	UPAH					
1	Mandor	OH	22	0.01	Rp120,000	Rp26,838
2	Pembantu Tukang	OH	22	0.3	Rp99,000	Rp664,241

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	Vol.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
	Sub Jumlah					Rp4,542,332
<b>III</b>	<b>PEKERJAAN BETON K-225</b>					
A	BAHAN					
1	Semen PC 40 Kg	Zak	96	9.275	Rp63,000	Rp55,963,727
2	Pasir Cor/Beton	m <sup>3</sup>	96	0.4363	Rp232,100	Rp9,697,566
3	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m <sup>3</sup>	96	0.5511	Rp466,000	Rp24,594,113
4	Air Kerja	Liter	96	215	Rp27	Rp555,974
B	UPAH					
1	Mandor	OH	96	0.083	Rp120,000	Rp953,919
2	Kepala Tukang	OH	96	0.028	Rp110,000	Rp294,987
3	Tukang	OH	96	0.275	Rp105,000	Rp2,765,503
4	Pembantu Tukang	OH	96	1.65	Rp99,000	Rp15,644,846
	Sub Jumlah					Rp110,470,635
<b>IV</b>	<b>PEKERJAAN PEMBESIAN DENGAN BESI BETON (POLOS/ULIR)</b>					
A	BAHAN					
1	Besi Beton Polos	Kg	96	1.05	Rp12,000	Rp1,206,765
2	Kawat Ikat	Kg	96	0.015	Rp23,000	Rp33,042
B	UPAH					Rp0
1	Mandor	OH	96	0.0004	Rp120,000	Rp4,597
2	Kepala Tukang	OH	96	0.0007	Rp110,000	Rp7,375
3	Tukang	OH	96	0.007	Rp105,000	Rp70,395
4	Pembantu Tukang	OH	96	0.007	Rp99,000	Rp66,372
	Sub Jumlah					Rp1,388,546
<b>V</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING DINDING</b>					
A	BAHAN					
1	Paku triplek/Eternit	Kg	62	0.4	Rp22,000	Rp547,602

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	Vol.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
2	plywood Uk. 122 x 244 x 9 mm	Lembar	62	0.35	Rp93,600	Rp2,038,573
3	Kayu Kamper Balok 4/6, 5/7	m <sup>3</sup>	62	0.02	Rp6,400,000	Rp7,965,120
4	Kayu Meranti Bekisting	m <sup>3</sup>	62	0.03	Rp3,200,000	Rp5,973,840
5	Minyak Bekisting	Liter	62	0.2	Rp28,300	Rp352,208
B	UPAH					
1	Mandor	OH	62	0.033	Rp120,000	Rp246,421
2	Kepala Tukang	OH	62	0.033	Rp110,000	Rp225,886
3	Tukang	OH	62	0.33	Rp105,000	Rp2,156,183
4	Pembantu Tukang	OH	62	0.66	Rp99,000	Rp4,065,945
	Sub Jumlah					Rp23,571,777
<b>VI</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING LANTAI</b>					
A	BAHAN					
1	Paku Triplek/Eternit	Kg	34	0.4	Rp22,000	Rp295,218
2	Plywood Uk. 122x244x9 mm	Lembar	34	0.35	Rp93,600	Rp1,099,016
3	Kayu Kamper Balok 4/6, 5/7	m <sup>3</sup>	34	0.015	Rp6,400,000	Rp3,220,560
4	Kayu Meranti Bekisting	m <sup>3</sup>	34	0.04	Rp3,200,000	Rp4,294,080
5	Minyak Bekisting	Liter	34	0.2	Rp28,300	Rp189,879
B	UPAH					
1	Mandor	OH	34	0.033	Rp120,000	Rp132,848
2	Kepala Tukang	OH	34	0.033	Rp110,000	Rp121,777
3	Tukang	OH	34	0.33	Rp105,000	Rp1,162,421
4	Pembantu Tukang	OH	34	0.66	Rp99,000	Rp2,191,994
	Sub Jumlah					Rp12,707,793
<b>VII</b>	<b>Pekerjaan Pondasi Beton Bertulang (150 Kg besi + bekisting)</b>					

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	Vol.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
A	BAHAN					
1	Semen PC 40 Kg	Zak	0	8.4	Rp63,000	Rp228,614
2	Pasir Cor/Beton	m <sup>3</sup>	0	0.54	Rp232,100	Rp54,144
3	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m <sup>3</sup>	0	0.81	Rp466,000	Rp163,063
4	Besi Beton Polos	Kg	0	157.5	Rp12,000	Rp816,480
5	Paku Triplek/Eternit	Kg	0	1.5	Rp22,000	Rp14,256
6	Kawat Ikat	Kg	0	2.25	Rp23,000	Rp22,356
7	Kayu Meranti Bekisting	m <sup>3</sup>	0	0.2	Rp3,200,000	Rp276,480
8	Minyak Bekisting	Liter	0	0.4	Rp28,300	Rp4,890
B	UPAH					Rp0
1	Mandor	OH	0	0.265	Rp120,000	Rp13,738
2	Kepala Tukang	OH	0	0.262	Rp110,000	Rp12,450
3	Tukang	OH	0	1.3	Rp105,000	Rp58,968
4	Tukang	OH	0	0.275	Rp105,000	Rp12,474
5	Tukang	OH	0	1.05	Rp105,000	Rp47,628
6	Pembantu Tukang	OH	0	5.3	Rp99,000	Rp226,670
	Sub Jumlah					Rp1,952,212
<b>VII</b>	<b>PEKERJAAN PENGURUGAN TANAH KEMBALI</b>					
A	UPAH					
1	Mandor	OH	130	0.019	Rp120,000	Rp296,617
2	Pembantu Tukang	Oh	130	0.102	Rp99,000	Rp1,313,699
	Sub Jumlah					Rp1,610,316
<b>IX</b>	<b>PEKERJAAN PENGURUGAN PASIR, KERIKIL pada HCW</b>					
A	BAHAN					
1	Pasir	m <sup>3</sup>	104	1.2	Rp60,500	Rp7,557,660
2	Kerikil	m <sup>3</sup>	8	1.2	Rp20,000	Rp185,640

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	Vol.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
3	Tanaman Bambu Air	Batang	158		Rp10,000	Rp1,575,000
4	Tanaman Canna	Batang	158		Rp10,000	Rp1,575,000
5	Tanaman Cyperus Papyrus	Batang	240		Rp10,000	Rp2,400,000
<b>B</b>	<b>TENAGA KERJA</b>					
1	Tukang	OH	112	0.01	Rp32,500	Rp32,612
2	Pekerja	OH	112	0.3	Rp28,000	Rp28,112
	Sub Jumlah					Rp13,354,024
<b>X</b>	<b>POMPA, PIPA, DAN AKSESORISNYA</b>					
<b>A</b>	<b>BAHAN</b>					
1	Pompa	unit		1	Rp630,000	Rp630,000
2	Pipa ø 1 x 1/4 inchi	meter		30	Rp81,840	Rp2,455,200
3	Gate Valve	unit		1	Rp225,000	Rp225,000
4	Check Valve	unit		1	Rp200,000	Rp200,000
5	Knee 90°	unit		3	Rp45,840	Rp137,520
6	Tee 2" x 2" x 2"	unit		1	Rp6,400	Rp6,400
7	Reducer-increaser 1" x 2"	unit		1	Rp2,800	Rp2,800
8	Plat Perforated	unit		3	Rp550,000	Rp1,650,000
<b>B</b>	<b>UPAH</b>					
1	Mandor	OH	30	0.0027	Rp120,000	Rp9,720.00
	Kepala Tukang	OH	30	0.009	Rp110,000	Rp29,700.00
3	Tukang	OH	30	0.09	Rp105,000	Rp283,500.00
4	Pembantu Tukang	OH	30	0.054	Rp99,000	Rp160,380.00
	Sub Jumlah					Rp5,790,220
	<b>Total RAB</b>					<b>Rp201,850,807</b>

**Tabel 4.8 RAB ZONA 2**

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOL.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
<b>I</b>	<b>PEKERJAAN PENGALIAN TANAH BIASA</b>					
A	UPAH					
1	Mandor	OH	374	0.025	Rp120,000	Rp1,121,558
2	Pembantu Tukang	OH	374	0.75	Rp99,000	Rp27,758,548
	Sub Jumlah					Rp28,880,106
<b>II</b>	<b>PEKERJAAN PENGURUGAN PASIR DENGAN PEMADATAN</b>					
A	BAHAN					
1	Pasir urug	m <sup>3</sup>	27	1.2	Rp143,500	Rp4,596,879
B	UPAH					
1	Mandor	OH	27	0.01	Rp120,000	Rp32,034
2	Pembantu Tukang	OH	27	0.3	Rp99,000	Rp792,842
	Sub Jumlah					Rp5,421,755
<b>III</b>	<b>PEKERJAAN BETON K-225</b>					
A	BAHAN					
1	Semen PC 40 Kg	Zak	105	9.275	Rp63,000	Rp61,590,777
2	Pasir Cor/Beton	m <sup>3</sup>	105	0.4363	Rp232,100	Rp10,672,638
3	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m <sup>3</sup>	105	0.5511	Rp466,000	Rp27,067,005
4	Air Kerja	Liter	105	215	Rp27	Rp611,876
B	UPAH					Rp0
1	Mandor	OH	105	0.083	Rp120,000	Rp1,049,834
2	Kepala Tukang	OH	105	0.028	Rp110,000	Rp324,647
3	Tukang	OH	105	0.275	Rp105,000	Rp3,043,569
4	Pembantu Tukang	OH	105	1.65	Rp99,000	Rp17,217,907
	Sub Jumlah					Rp121,578,254



NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOL.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
<b>IV</b>	<b>PEKERJAAN PEMBESIAN DENGAN BESI BETON (POLOS/ULIR)</b>					
A	BAHAN					
1	Besi Beton Polos	Kg	105	1.05	Rp12,000	Rp1,328,103
2	Kawat Ikut	Kg	105	0.015	Rp23,000	Rp36,365
B	UPAH					Rp0
1	Mandor	OH	105	0.0004	Rp120,000	Rp5,059
2	Kepala Tukang	OH	105	0.0007	Rp110,000	Rp8,116
3	Tukang	OH	105	0.007	Rp105,000	Rp77,473
4	Pembantu Tukang	OH	105	0.007	Rp99,000	Rp73,046
	Sub Jumlah					Rp1,528,162
<b>V</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING DINDING</b>					
A	BAHAN					
1	Paku triplek/Eternit	Kg	65	0.4	Rp22,000	Rp575,190
2	plywood Uk. 122 x 244 x 9 mm	Lembar	65	0.35	Rp93,600	Rp2,141,276
3	Kayu Kamper Balok 4/6, 5/7	m <sup>3</sup>	65	0.02	Rp6,400,000	Rp8,366,400
4	Kayu Meranti Bekisting	m <sup>3</sup>	65	0.03	Rp3,200,000	Rp6,274,800
5	Minyak Bekisting	Liter	65	0.2	Rp28,300	Rp369,952
B	UPAH					
1	Mandor	OH	65	0.033	Rp120,000	Rp258,836
2	Kepala Tukang	OH	65	0.033	Rp110,000	Rp237,266
3	Tukang	OH	65	0.33	Rp105,000	Rp2,264,811
4	Pembantu Tukang	OH	65	0.66	Rp99,000	Rp4,270,786
	Sub Jumlah					Rp24,759,315
<b>VI</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING LANTAI</b>					
A	BAHAN					

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOL.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
1	Paku Triplek/Eternit	Kg	40	0.4	Rp22,000	Rp352,374
2	Plywood Uk. 122x244x9 mm	Lembar	40	0.35	Rp93,600	Rp1,311,792
3	Kayu Kamper Balok 4/6, 5/7	m <sup>3</sup>	40	0.015	Rp6,400,000	Rp3,844,080
4	Kayu Meranti Bekisting	m <sup>3</sup>	40	0.04	Rp3,200,000	Rp5,125,440
5	Minyak Bekisting	Liter	40	0.2	Rp28,300	Rp226,641
B	UPAH					Rp0
1	Mandor	OH	40	0.033	Rp120,000	Rp158,568
2	Kepala Tukang	OH	40	0.033	Rp110,000	Rp145,354
3	Tukang	OH	40	0.33	Rp105,000	Rp1,387,473
4	Pembantu Tukang	OH	40	0.66	Rp99,000	Rp2,616,377
	Sub Jumlah					Rp15,168,099
<b>VII</b>	<b>Pekerjaan Pondasi Beton Bertulang (150 Kg besi + bekisting)</b>					
A	BAHAN					
1	Semen PC 40 Kg	Zak	0	8.4	Rp63,000	Rp228,614
2	Pasir Cor/Beton	m <sup>3</sup>	0	0.54	Rp232,100	Rp54,144
3	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m <sup>3</sup>	0	0.81	Rp466,000	Rp163,063
4	Besi Beton Polos	Kg	0	157.5	Rp12,000	Rp816,480
5	Paku Triplek/Eternit	Kg	0	1.5	Rp22,000	Rp14,256
6	Kawat Ikut	Kg	0	2.25	Rp23,000	Rp22,356
7	Kayu Meranti Bekisting	m <sup>3</sup>	0	0.2	Rp3,200,000	Rp276,480
8	Minyak Bekisting	Liter	0	0.4	Rp28,300	Rp4,890
B	UPAH					Rp0
1	Mandor	OH	0	0.265	Rp120,000	Rp13,738
2	Kepala Tukang	OH	0	0.262	Rp110,000	Rp12,450

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOL.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
3	Tukang	OH	0	1.3	Rp105,000	Rp58,968
4	Tukang	OH	0	0.275	Rp105,000	Rp12,474
5	Tukang	OH	0	1.05	Rp105,000	Rp47,628
6	Pembantu Tukang	OH	0	5.3	Rp99,000	Rp226,670
	Sub Jumlah					Rp1,952,212
<b>VIII</b>	<b>PEKERJAAN PENGURUGAN TANAH KEMBALI</b>					
A	UPAH					
1	Mandor	OH	120	0.019	Rp120,000	Rp274,170
2	Pembantu Tukang	Oh	120	0.102	Rp99,000	Rp1,214,285
	Sub Jumlah					Rp1,488,455
<b>IX</b>	<b>PEKERJAAN PENGURUGAN PASIR, KERIKIL pada HCW</b>					
A	BAHAN					
1	Pasir	m <sup>3</sup>	79	1.2	Rp60,500	Rp5,756,454
2	Kerikil	m <sup>3</sup>	61	1.2	Rp20,000	Rp1,471,320
3	Tanaman Bambu Air	Batang	270		Rp10,000	Rp2,700,000
4	Tanaman Canna	Batang	270		Rp10,000	Rp2,700,000
5	Tanaman Cyperus Papyrus	Batang	158		Rp10,000	Rp1,575,000
B	TENAGA KERJA					
1	Tukang	OH	141	0.01	Rp32,500	Rp32,641
2	Pekerja	OH	141	0.3	Rp28,000	Rp28,141
	Sub Jumlah					Rp14,263,556
<b>X</b>	<b>POMPA, PIPA, DAN AKSESORISNYA</b>					
A	BAHAN					
1	Pompa	unit		1	Rp630,000	Rp630,000
2	Pipa ø 1 x 1/4 inchi	meter		30	Rp81,840	Rp2,455,200
3	Gate Valve	unit		1	Rp225,000	Rp225,000

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOL.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
4	Check Valve	unit		1	Rp200,000	Rp200,000
5	Knee 90°	unit		3	Rp45,840	Rp137,520
6	Tee 2" x 2" x 2"	unit		1	Rp6,400	Rp6,400
7	Reducer-increaser 1" x 2"	unit		1	Rp2,800	Rp2,800
8	Plat Perforated	unit		3	Rp550,000	Rp1,650,000
B	UPAH					
1	Mandor	OH	30	0.0027	Rp120,000	Rp9,720
	Kepala Tukang	OH	30	0.009	Rp110,000	Rp29,700
3	Tukang	OH	30	0.09	Rp105,000	Rp283,500
4	Pembantu Tukang	OH	30	0.054	Rp99,000	Rp160,380
	Sub Jumlah					Rp5,790,220
	<b>Total RAB</b>					<b>Rp220,830,131</b>

**Tabel 4.9 RAB ZONA 3**

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOL.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
I	<b>PEKERJAAN PENGALIAN TANAH BIASA</b>					
A	UPAH					
1	Mandor	OH	415	0.025	Rp120,000	Rp1,244,691
2	Pembantu Tukang	OH	415	0.75	Rp99,000	Rp30,806,102
	Sub Jumlah					Rp32,050,793
II	<b>PEKERJAAN PENGURUGAN PASIR DENGAN PEMADATAN</b>					
A	BAHAN					
1	Pasir urug	m <sup>3</sup>	37	1.2	Rp143,500	Rp6,328,522
B	UPAH					
1	Mandor	OH	37	0.01	Rp120,000	Rp44,101

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOL.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
2	Pembantu Tukang	OH	37	0.3	Rp99,000	Rp1,091,505
	Sub Jumlah					Rp7,464,128
<b>III</b>	<b>PEKERJAAN BETON K-225</b>					
A	BAHAN					
1	Semen PC 40 Kg	Zak	121	9.275	Rp63,000	Rp70,832,461
2	Pasir Cor/Beton	m <sup>3</sup>	121	0.4363	Rp232,100	Rp12,274,066
3	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m <sup>3</sup>	121	0.5511	Rp466,000	Rp31,128,404
4	Air Kerja	Liter	121	215	Rp27	Rp703,688
B	UPAH					Rp0
1	Mandor	OH	121	0.083	Rp120,000	Rp1,207,361
2	Kepala Tukang	OH	121	0.028	Rp110,000	Rp373,361
3	Tukang	OH	121	0.275	Rp105,000	Rp3,500,256
4	Pembantu Tukang	OH	121	1.65	Rp99,000	Rp19,801,450
	Sub Jumlah					Rp139,821,047
<b>IV</b>	<b>PEKERJAAN PEMBESIAN DENGAN BESI BETON (POLOS/ULIR)</b>					
A	BAHAN					
1	Besi Beton Polos	Kg	121	1.05	Rp12,000	Rp1,527,385
2	Kawat Ikut	Kg	121	0.015	Rp23,000	Rp41,821
B	UPAH					Rp0
1	Mandor	OH	121	0.0004	Rp120,000	Rp5,819
2	Kepala Tukang	OH	121	0.0007	Rp110,000	Rp9,334
3	Tukang	OH	121	0.007	Rp105,000	Rp89,097
4	Pembantu Tukang	OH	121	0.007	Rp99,000	Rp84,006

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOL.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
	Sub Jumlah					Rp1,757,462
<b>V</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING DINDING</b>					
A	BAHAN					
1	Paku triplek/Eternit	Kg	66	0.4	Rp22,000	Rp581,632
2	plywood Uk. 122 x 244 x 9 mm	Lembar	66	0.35	Rp93,600	Rp2,165,256
3	Kayu Kamper Balok 4/6, 5/7	m <sup>3</sup>	66	0.02	Rp6,400,000	Rp8,460,096
4	Kayu Meranti Bekisting	m <sup>3</sup>	66	0.03	Rp3,200,000	Rp6,345,072
5	Minyak Bekisting	Liter	66	0.2	Rp28,300	Rp374,095
B	UPAH					
1	Mandor	OH	66	0.033	Rp120,000	Rp261,734
2	Kepala Tukang	OH	66	0.033	Rp110,000	Rp239,923
3	Tukang	OH	66	0.33	Rp105,000	Rp2,290,174
4	Pembantu Tukang	OH	66	0.66	Rp99,000	Rp4,318,615
	Sub Jumlah					Rp25,036,597
<b>VI</b>	<b>PEKERJAAN BEKISTING LANTAI</b>					
A	BAHAN					
1	Paku Triplek/Eternit	Kg	55	0.4	Rp22,000	Rp485,113
2	Plywood Uk. 122x244x9 mm	Lembar	55	0.35	Rp93,600	Rp1,805,944
3	Kayu Kamper Balok 4/6, 5/7	m <sup>3</sup>	55	0.015	Rp6,400,000	Rp5,292,144
4	Kayu Meranti Bekisting	m <sup>3</sup>	55	0.04	Rp3,200,000	Rp7,056,192

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOL.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
5	Minyak Bekisting	Liter	55	0.2	Rp28,300	Rp312,016
B	UPAH					Rp0
1	Mandor	OH	55	0.033	Rp120,000	Rp218,301
2	Kepala Tukang	OH	55	0.033	Rp110,000	Rp200,109
3	Tukang	OH	55	0.33	Rp105,000	Rp1,910,133
4	Pembantu Tukang	OH	55	0.66	Rp99,000	Rp3,601,966
	Sub Jumlah					Rp20,881,918
<b>VII</b>	<b>Pekerjaan Pondasi Beton Bertulang (150 Kg besi + bekisting)</b>					
A	BAHAN					
1	Semen PC 40 Kg	Zak	0	8.4	Rp63,000	Rp228,614
2	Pasir Cor/Beton	m <sup>3</sup>	0	0.54	Rp232,100	Rp54,144
3	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m <sup>3</sup>	0	0.81	Rp466,000	Rp163,063
4	Besi Beton Polos	Kg	0	157.5	Rp12,000	Rp816,480
5	Paku Triplek/Eternit	Kg	0	1.5	Rp22,000	Rp14,256
6	Kawat Ikat	Kg	0	2.25	Rp23,000	Rp22,356
7	Kayu Meranti Bekisting	m <sup>3</sup>	0	0.2	Rp3,200,000	Rp276,480
8	Minyak Bekisting	Liter	0	0.4	Rp28,300	Rp4,890
B	UPAH					Rp0
1	Mandor	OH	0	0.265	Rp120,000	Rp13,738
2	Kepala Tukang	OH	0	0.262	Rp110,000	Rp12,450
3	Tukang	OH	0	1.3	Rp105,000	Rp58,968
4	Tukang	OH	0	0.275	Rp105,000	Rp12,474
5	Tukang	OH	0	1.05	Rp105,000	Rp47,628

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOL.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
6	Pembantu Tukang	OH	0	5.3	Rp99,000	Rp226,670
	Sub Jumlah					Rp1,952,212
<b>VIII</b>	<b>PEKERJAAN PENGURUGAN TANAH KEMBALI</b>					
A	UPAH					
1	Mandor	OH	66	0.019	Rp120,000	Rp149,939
2	Pembantu Tukang	Oh	66	0.102	Rp99,000	Rp664,070
	Sub Jumlah					Rp814,008
<b>IX</b>	<b>PEKERJAAN PENGURUGAN PASIR, KERIKIL pada SSFCW</b>					
A	BAHAN					
1	Pasir	m <sup>3</sup>	0	1.2	Rp60,500	Rp0
2	Kerikil	m <sup>3</sup>	208	1.2	Rp20,000	Rp4,990,440
3	Tanaman Bambu Air	Batang	0		Rp10,000	Rp0
4	Tanaman Canna	Batang	0		Rp10,000	Rp0
5	Tanaman Cyperus Papyrus	Batang	1053		Rp10,000	Rp10,530,000
B	TENAGA KERJA					
1	Tukang	OH	208	0.01	Rp32,500	Rp32,708
2	Pekerja	OH	208	0.3	Rp28,000	Rp28,208
	Sub Jumlah					Rp15,581,356
<b>X</b>	<b>POMPA, PIPA, DAN AKSESORISNYA</b>					
A	BAHAN					
1	Pompa	unit		1	Rp630,000	Rp630,000
2	Pipa ø 1 x 1/4 inchi	meter		30	Rp81,840	Rp2,455,200
3	Gate Valve	unit		1	Rp225,000	Rp225,000
4	Check Valve	unit		1	Rp200,000	Rp200,000
5	Knee 90°	unit		3	Rp45,840	Rp137,520
6	Tee 2" x 2" x 2"	unit		1	Rp6,400	Rp6,400



NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	VOL.	INDEKS	HARGA SATUAN (Rp)	HARGA PEKERJAAN (Rp)
7	Reducer-increaser 1" x 2"	unit		1	Rp2,800	Rp2,800
8	Plat Perforated	unit		3	Rp550,000	Rp1,650,000
B	UPAH					
1	Mandor	OH	30	0.0027	Rp120,000	Rp9,720
	Kepala Tukang	OH	30	0.009	Rp110,000	Rp29,700
3	Tukang	OH	30	0.09	Rp105,000	Rp283,500
4	Pembantu Tukang	OH	30	0.054	Rp99,000	Rp160,380
	Sub Jumlah					Rp5,790,220
	<b>Total</b>					<b>Rp251,149,742</b>

**Total RAB Kejawan Gebang:**

= Total RAB Zona 1 + Total RAB Zona 2+ Total RAB Zona 3

= Rp201,850,807+ Rp220,830,131 + Rp251,149,742

**= Rp673,830,680**

## **BAB 5**

### **OPERASI DAN PEMELIHARAAN**

Operasi dan pemeliharaan dapat diklasifikasikan menjadi kategori *start-up*, rutin, dan jangka panjang. Cek secara menyeluruh harus dilakukan setidaknya dua kali setahun untuk operasional yang efektif. Operasi dan pemeliharaan dari pengolahan utama merupakan hal yang penting untuk menjaga keefektifan dari lahan basah.

#### **5.1 *Start-up***

Periode start up untuk *wetland* sangat dibutuhkan untuk merancang dan menentukan vegetasi yang terkait dengan proses pada pengolahan. Periode *start up* lamanya tak bisa diprediksi tergantung dari tipe desain, karakteristik dari influen air limbah, dan musim. Walaupun periode *start up* untuk *subsurface flow constructed wetland* kurang penting karena kinerja sedikit tergantung dari vegetasi, namun vegetasi sendiri menambah nilai estetika dari *wetland*.

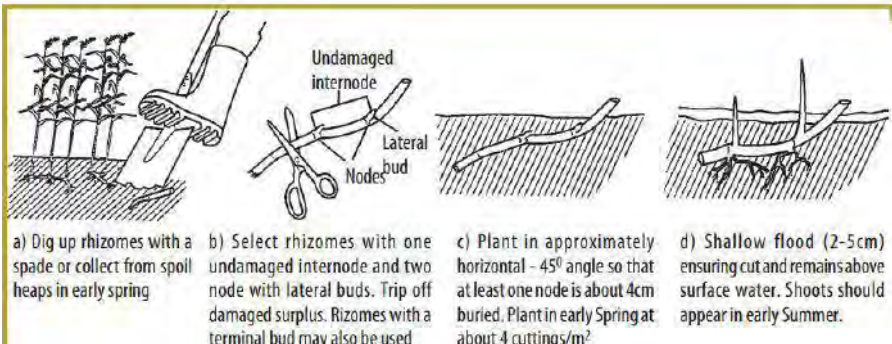
##### **5.1.1 Menanam Vegetasi**

Menumbuhkan vegetasi atau tanaman merupakan aspek paling familiar dalam perencanaan *wetland*. Vegetasi dapat ditumbuhkan di *wetland* dengan menanam akar, rimpang (*rhizome*), umbi-umbian, biji, dan tanaman dewasa. Dalam perencanaan ini cara penanaman adalah dengan menanam rhizome atau rimpang dari *wetland* alami atau tanaman yang dijual secara komersial, cara ini adalah cara paling umum saat ini. Dua teknik dalam menanam *rhizome* adalah:

- Menanam berumpun
- Menanam secara stek

Untuk skala kecil, lahan basah dapat digali dengan sekop, tetapi untuk proyek skala besar penggunaan *excavator* dibutuhkan. Ketika mengangkut atau menyimpan, gumpalan tidak boleh ditumpuk. Dengan cara ini, batang udara atau *aerial stems* tidak akan rusak. Jarak tanaman tergantung pada ukuran rimpang. Stek rimpang dapat diperoleh dari lahan basah yang ada atau dari pembibitan komersial. Potongan dari rimpang yang tidak rusak,

paling tidak sepanjang 100 mm. Salah satu ruas rimpang harus ditanam dengan salah satu ujung diletakkan disekitar setengah di bawah permukaan media, dan ujung lainnya terkena udara atau pada permukaan wetland, jarak antar rimpang adalah 3 *rhizome* per satu meter. Berikut, skema gambar penanaman rimpang.



**Gambar 5.1 Teknik Penanaman rimpang atau *rhizome***

*Sumber: Un Habitat-Constructed Wetland, 2008*

### 5.1.2 Menyesuaikan level air

Penyesuaian level permukaan air diatur oleh operator. Pada umumnya, wetland harus diisi air dari permukaan media hingga titik ujung penanaman. Bersamaan dengan tumbuhnya vegetasi, maka level air akan turun sesuai level operasi pada desain.

## 5.2 Pengecekan Rutin

Pengecekan rutin meliputi:

- Pengecekan level air
- Pengecekan aliran air (Struktur inlet dan outlet)
- Manajemen Vegetasi
- Kontrol bau
- Pengecekan berm (dinding)

### 5.2.1 Pengecekan level air

Level air dan kontrol debit adalah satu-satunya aspek operasional yang berhubungan langsung dengan performa dari desain wetland. Perubahan pada level air dapat berimbas pada

hydraulic residence time (HRT), oksigen yang terdifusi pada air, dan tanaman penutup. Perubahan level air yang signifikan harus ditelusuri segera, karena dapat disebabkan oleh kebocoran, clogging pada outlet, kerusakan berm, penyumbatan saluran, atau sebab lainnya.

### **5.2.2 Pengecekan Aliran dari Air**

Pengecekan aliran air pada inlet dan outlet sangat penting untuk mendapatkan performa pengolahan yang diinginkan. Inlet dan outlet pipa harus dicek secara rutin dan regular apakah ada penyumbatan atau tidak. Pembersihan puing-puing atau endapan pada unit awal wetland seperti pada weir atau *perforated baffle* sangat diperlukan. Inlet dan outlet yang terendam harus disemprot secara periodik. Pembersihan dengan teknik air bertekanan tinggi juga dibutuhkan, karena *suspended solid* pada umumnya terkumpul di inlet dan jika terakumulasi dapat mempengaruhi waktu tinggal.

### **5.2.3 Manajemen Vegetasi**

Setiap empat bulan sekali atau lebih tanaman *Canna* yang sudah mati harus dipanen. Tiga bulan sekali untuk bambu air dan *Cyperus papyrus*. Siklus hidup ketiga tanaman hampir sama. Pada fase awal pertumbuhan vegetatif muncul tunas dari rimpang atau geragih. Kemudian setelah berumur 3-5 minggu tumbuh beberapa helai daun. Tanaman muda tumbuh menjadi tanaman dewasa ditandai dengan tumbuhnya helaian daun berukuran normal maksimal yakni pada umur 8-10 minggu. Tanaman yang berumur 12-14 minggu mulai berbunga (fase generatif). kuntum bunga yang telah mekar penuh, lambat laun layu dan berguguran. Batang induk layu dan mati, tetapi rimpang di dalam tanah dapat tumbuh kembali setelah mengalami masa istirahat selama beberapa minggu, (Rukmana, 1997). Tanaman yang telah dipanen dapat dijadikan kompos.

### **5.2.4 Kontrol Bau**

Kontrol bau mengindikasikan pada kondisi anaerob, yang disebabkan oleh BOD yang berlebih dan *ammonia loading*. Oleh

karena itu, penyeragaman distribusi aliran air dapat dilakukan untuk mencegah bau, dalam perencanaan ini dipasang *perforated baffle*.

### **5.2.5 Pengecekan Berm atau dinding**

Berm harus dicek secara teliti. Adanya berm yang terkikis atau retak pada dinding harus diperbaiki secepat mungkin. Hal ini dapat diperbaiki dengan penembelan dan penyumbatan.

### **5.3 Pengecekan Jangka Panjang**

Kualitas dari *wetland* harus diamati setiap waktu. Pengecekan rutin dapat membantu operator untuk mendapatkan data, menganalisisnya, dan menentukan langkah yang tepat dalam perbaikan *wetland*. Selain itu, sampel dari air olahan harus diambil dan dianalisis, apakah tiap-tiap parameternya memenuhi baku mutu atau tidak.

### **5.4 Biaya Operational dan Maintenance**

#### **5.5 Biaya kebutuhan listrik selama 1 bulan dan 1 tahun**

Perhitungan biaya listrik ini dilakukan selama satu tahun. Perhitungan biaya listrik sebagai berikut:

Harga listrik kWh = Rp1.300 (PLN, 2016)

##### **5.5.1 Pemakaian listrik per hari**

Biaya = lama pemakaian x harga listrik x daya pompa x jumlah pompa

= 16 jam x Rp1.300 x 0,07 x 1 = Rp 1.456,-

##### **5.5.2 Biaya listrik per bulan**

=biaya listrik per hari x 30 hari

=Rp1.456 x 30 =Rp43.680,-

##### **5.5.3 Biaya listrik per tahun**

Biaya listrik per bulan x 12 bulan

= Rp43.680,-x 12 =Rp524.160,-

### **5.6 Biaya pembersihan media**

Pemakaian air untuk pembersihan media diasumsikan sebanyak 100 liter tiap m<sup>2</sup>. Berdasarkan kurniadie, 2011, gravel atau pasir sebagai *substrate* atau media prositasnya akan menurun dengan semakin lamanya filter bed digunakan karena banyaknya sedimen yang menempel kurang lebih 8-10 tahun.

Sehingga, pada rentang waktu tersebut, gravel atau pasir harus diganti atau dibersihkan. Untuk menjaga kinerja dari *wetland*, pada perencanaan ini, pembersihan media dilakukan setiap 3 tahun sekali. Lama waktu pembersihan media selama satu hari dengan menggunakan tenaga profesional.

Luas lahan:

Zona 1 = 185 m<sup>2</sup>

Zona 2= 232, 5 m<sup>2</sup>

Zona 3= 351 m<sup>2</sup>

#### **5.6.1 Air yang dibutuhkan:**

Zona 1 = 185 m<sup>2</sup> x 0,1 m<sup>3</sup>=18,5 m<sup>3</sup>

Zona 2= 232, 5 m<sup>2</sup> x 0,1 m<sup>3</sup>=23,25 m<sup>3</sup>

Zona 3= 351 m<sup>2</sup> x 0,1 m<sup>3</sup>=35,1 m<sup>3</sup>

Harga air =Rp1,6 tiap liter (PDAM, 2016)

#### **5.6.2 Harga kebutuhan air**

Zona 1 = 18,5 m<sup>3</sup> x 1000 x Rp1,6 =Rp29.600,-

Zona 2 =23,25 m<sup>3</sup> x 1000 x Rp 1,6 =Rp37.200,-

Zona 3 =35,1 m<sup>3</sup> x 1000 x Rp 1,6 =Rp56.160,-

Biaya yang dibutuhkan dengan frekuensi pembersihan media selama dua kali dalam satu tahun adalah sebagai berikut:

Zona 1 = Rp29.600,- x 2 =Rp59.200,-

Zona 2= Rp37.200,- x 2 =Rp74.400,-

Zona 3= Rp56.160,- x 2 =Rp112.320,-

#### **5.7 Total Biaya O&M**

Maka, Total biaya O&M selama satu tahun adalah sebagai berikut:

Zona 1: Biaya listrik satu tahun + Biaya Air satu tahun

= Rp524.160,- + Rp59.200,- = Rp583.360,-

Zona 2: Biaya listrik satu tahun + Biaya Air satu tahun

= Rp524.160,- + Rp74.400,-= Rp598.560,-

Zona 3: Biaya listrik satu tahun + Biaya Air satu tahun

= Rp524.160,- + Rp112.320,-= Rp636.480,-

Biaya pembersihan media yang harusnya setiap 3 tahun sekali, tetap dihitung setiap tahun, dengan asumsi akumulasi biaya air untuk pembersihan media selama 3 tahun dialokasikan untuk membayar tenaga profesional dan kebutuhan air itu sendiri.

Dari perhitungan biaya di atas, maka dapat dihitung pula retribusi yang harus di bayar masyarakat setiap tahunnya, sebagai berikut:

Zona 1: Total Biaya/ Jumlah Penduduk  
=Rp583.360,-/ 560 orang = Rp1.000,-  
Zona 2: Total Biaya/ Jumlah Penduduk  
= Rp598.560,-/467 orang = Rp1.300,-  
Zona 3: Total Biaya/ Jumlah Penduduk  
= Rp636.480,-/420 orang = Rp1.500,-

**LAMPIRAN**  
**Lampiran 1. GAMBAR DAERAH SASARAN**



**Gambar 1. Rencana HCW Zona 1**



**Gambar 2. Rencana HCW Zona 2**



**Gambar 3. Rencana HCW Zona 3**



**Gambar 4. Gang 1**



**Gambar 5. gang 2**



**Gambar 6. Gang 3**





**Gambar 7. Gang 4**



**Gambar 8. Gang 5**



**Gambar 9. Gang 6**



**Gambar 10. Gang 8**



**Gambar 11. Gang 9**



**Gambar 12. Gang 10**



**Gambar 13. Gang 5 Buntu**



**Gambar 14. Gang 8 A**



**Gambar 15. Gang Makam**



**Gambar 16. Gang Family**



**Gambar 17. Sampling**



**Gambar 18 Survei**

**Lampiran 2. DATA CURAH HUJAN SURABAYA TIMUR STASIUN KEPUTIH**

TANGGAL	B U L A N (mm)											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	12	0	14	0	27.5	0	0	0	0	0	0	0
2	20	23	14	10	13	0	0	0	0	0	0	0
3	25	3	2	25	42	0	0	0	0	0	0	0
4	0	40	20	9.5	1	0	0	0	0	0	0	25
5	6.5	63.5	59	7.5	22	0	0	0	0	0	0	24
6	3	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
7	0	25	13.5	4.5	0	0	0	0	0	0	0	12.5
8	0	1	0	61.5	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	5
12	0	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12	3.5	0	38.5	0	0	0	0	0	0	0	0
14	12	25	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	65	0	37.5	0	0	0	0	0	0	0	9
16	10	15	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TANGGAL	B U L A N (mm)											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
17	30.5	9	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	45	8.5	9.5	17.5	0	0	0	0	0	0	0	0
19	58	15.5	6	2	0	0	0	0	0	0	14	9
20	37	44	37	0	0	0	0	0	0	0	15	0
21	0	44.5	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	2	30	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	13.5	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0
25	6	2	0	6.5	0	0	0	0	0	0	1	0
26	7	5	18	0	19	0	0	0	0	0	12	18
27	0	7	0	0	4	0	0	0	0	0	59	20
28	44	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
29	60.5		0	10	0	0	0	0	0	0	4	30
30	20.5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	9		25		0		0	0		0		2

Sumber: BMKG Surabaya, 2016

### Lampiran 3. Hasi Survei

**Tabel 0.1 Rekapitulasi Zona 1**

No	Nama	Alamat	Jumlah Orang	Debit Air bersih			Sumber Air	Penggunaan Air	Kepemilikan Tangki Septik	Pembuangan limbah domestik	
				Januari 2016	Februari 2016	Maret 2016				Black Water	Grey Water
1	Ibu Nurhayati	Kejawan Gebang Gang Makam	5	26	23	20	PDAM	Mandi, cuci, memasak	Ada	Tangki septik	Kali
2	Ibu Siti Julaikhah	Kejawan Gebang Gang 10	7	30	33	35	PDAM	Mandi, cuci, home industry sate	Tidak	Kali	Kali
3	Haji Sukardi	Kejawan Gebang Gang 9 Nomor 9	7	32	28	20	PDAM	Mandi, cuci, memasak	Tidak	Kali	Selokan
4	Ibu Kamilah	Kejawan Gebang No. 23	3	10	10	10	PDAM	Mandi, cuci, memasak	Tidak	Selokan	Selokan
5	Ibu Mudmainah	Kejawan Gebang Gang Family	5	23	20	21	PDAM	Mandi, cuci, memasak	Ada	Tangki Septik	Selokan
6	Ibu Siti Rokhayatun	Kejawan Gebang Gang 8A	6	39	40	29	PDAM	Mandi, cuci, memasak	Tidak	Selokan	Selokan
7	Pak Suyanto	Kejawan Gebang Gang 10 No.7	6	38	53	42	PDAM	Mandi, cuci	Tidak	Kali	Selokan
8	Ibu Juminah	Kejawan Gebang Gang 10	5	20	26	20	PDAM dan Sumur	Mandi, cuci, memasak	Tidak	Kali	Selokan
9	Ibu Zakiah	Kejawan Gebang 26B	6	26	22	21	PDAM	Mandi, cuci, memasak, minum	Ada	Tangki septik	Selokan

No	Nama	Alamat	Jumlah Orang	Debit Air bersih			Sumber Air	Penggunaan Air	Kepemilikan Tangki Septik	Pembuangan limbah domestik	
				Januari 2016	Februari 2016	Maret 2016				Black Water	Grey Water
10	Ibu Lilik	Kejawan Gebang Gang 9 No.9	8	59	56	50	PDAM	Mandi, cuci, memasak, minum	Ada	Tangki septik	Selokan
11	Pak Marsudi	Kejawan Gebang Gang Family	5	28	43	32	PDAM	Mandi, cuci, memasak, minum	Tidak	Selokan	Selokan
12	Pak Yanto	Kejawan Gebang Gang Makam	5	17	16	16	PDAM	Mandi, cuci, memasak, minum	Tidak	Selokan	Selokan
13	Pak Samsul	Kejawan Gebang Gang Buntu	5	19	15	17	PDAM	Mandi, cuci, memasak, minum	Ada	Tangki septik	Selokan
14	Ibu Rizky	Kejawan Gebang	6	31	47	29	PDAM	Mandi, cuci, memasak, minum	Ada	Tangki septik	Selokan
15	Ibu Faria	Kejawan gebang Gang Buntu	5	13	11	11	PDAM	Mandi dan mencuci	Ada	Tangki septik	Selokan
16	Ibu Yuni	Kejawan Gebang Gang 5 Buntu	3	10	10	11	PDAM	Mandi, cuci, memasak, minum	Tidak	Selokan	Selokan

**Tabel 0.2 Rekapitulasi Zona 2**

No	Nama	Alamat	Jumlah Orang	Debit Air bersih			Sumber Air	Penggunaan Air	Kepemilikan Tangki Septik	Pembuangan limbah domestik	Grey Water
				Januari 2016	Februari 2016	Maret 2016				Black Water	
1	Ibu Istiqomah	Kejawen Gebang Gang 2 No. 31	4	13	12	13	PDAM	Mandi saja	Ada	Tangki Septik	Selokan
2	Mas Robi	Kejawen Gebang Gang 2 No. 6	3	10	14	11	PDAM	Memasak dan mandi	Ada	Tangki Septik	Selokan
3	Kuriadin	Kejawen Gebang Gang 2 No. 22	7	26	31	26	PDAM	Memasak dan mandi	Ada	Tangki Septik	Selokan
4	Bawon	Kejawen Gebang Gang 2 No. 7	7	39	38	38	PDAM	Mandi saja	Ada	Tangki Septik	Selokan
5	Bunga	Kejawen Gebang Gang 4 No. 11 F	4	24	30	20	PDAM	Mandi dan Mencuci	Ada	Tangki Septik	Selokan
6	Ulfa	Kejawen Gebang Gang 4 No. 3	5	33	10	31	PDAM	Mandi dan Mencuci	Ada	Tangki Septik	Selokan
7	Pak Agus	Kejawen Gebang Gang 4 No. 18	5	26	24	31	PDAM	Mandi, Mencuci, memasak	Ada	Tangki Septik	Selokan
8	Ibu Yasmin	Kejawen Gebang Gang 3	5	15	13	11	PDAM	Mandi dan Mencuci	Tidak	Selokan	Selokan
9	Ibu Yuni	Kejawen Gebang Gang 3 No. 23	5	23	23	25	PDAM	Mandi dan Mencuci	Ada	Tangki Septik	Selokan
10	Syana	Kejawen Gebang Gang 3 No. 24	6	35	37	32	PDAM	Mandi dan Mencuci	Ada	Tangki Septik	Selokan

No	Nama	Alamat	Jumlah Orang	Debit Air bersih			Sumber Air	Penggunaan Air	Kepemilikan Tangki Septik	Pembuangan limbah domestik	
				Januari 2016	Februari 2016	Maret 2016				Black Water	Grey Water
11	Aisyah	Kejawen Gebang Gang 2 No. 13	3	13	10	12	PDAM	Mandi dan Mencuci	Ada	Tangki Septik	Selokan
12	Asmiati	Kejawen GebangNo. 6	5	23	17	20	PDAM	Memasak dan Mencuci	Ada	Tangki Septik	Selokan
13	Mustikah	Kejawen gebang No. 9	5	21	22	19	PDAM	Memandi dan memasak	Ada	Tangki Septik	Selokan
14	Munir	Kejawen Gebang Gang 5 No. 6	6	21	17	20	PDAM	Memasak dan Mandi	Ada	Tangki Septik	Selokan
15	Halimah	Kejawen Gebang No. 5	7	38	31	32	PDAM	Memasak, Mandi, dan Mencuci	Ada	Tangki Septik	Selokan



**Tabel 0.3 Rekapitulasi Zona 3**

No	Nama	Alamat	Jumlah Orang	Debit Air bersih			Sumber Air	Penggunaan Air	Kepemilikan Tangki Septik	Pembuangan limbah domestik	Grey Water
				Januari 2016	Februari 2016	Maret 2016				Black Water	
1	Eka	Kejawen Gebang Gang 6 No. 1	7	39	38	38	PDAM	Mandi dan Mencuci	Ada	Tangki Septik	Selokan
2	Windaya	Kejawen Gebang No. 4	4	21	20	21	PDAM	Mandi dan Mencuci	Ada	Tangki Septik	Selokan
3	Ninik	Kejawen Gebang Gang 6 No. 4	4	15	14	13	PDAM	Mandi dan Mencuci	Ada	Tangki Septik	Selokan
4	Suci Anawati	Kejawen Gebang Gang 6 No. 7	8	40	45	44	PDAM	Mandi, Mencuci, masak	Tidak	Selokan	Selokan
5	Ade R.	Kejawen Gebang	4	18	13	18	Sumur	Mandi dan Mencuci	Ada	Tangki Septik	Selokan
6	Toihatun	Kejawen Gebang Gang 6 No.6	5	24	24	22	PDAM	Mandi, Mencuci, masak	Tidak	Selokan	Selokan
7	Martiningsih	Kejawen Gebang Gang 6	3	10	15	15	PDAM	Memasak dan Laundry	Tidak	Selokan	Selokan
8	Agung	Kejawen Gebang Gang 6 No. 11	5	21	22	19	PDAM	Mandi, cuci, home industry ikan	Ada	Tangki Septik	Selokan
9	Ibu Sukinem	Kejawen Gebang Gang 6 No. 2	5	24	27	23	Sumur	Mandi dan Mencuci	Tidak	Selokan	Selokan

No	Nama	Alamat	Jumlah Orang	Debit Air bersih			Sumber Air	Penggunaan Air	Kepemilikan Tangki Septik	Pembuangan limbah domestik	
				Januari 2016	Februari 2016	Maret 2016				Black Water	Grey Water
10	Sukartini	Kejawan Gebang Gang 7 No. 8	5	28	29	20	PDAM	Mandi, Mencuci, masak	Ada	Tangki Septik	Selokan
11	Bu Mitsqa	Kejawan Gebang 8 No. 1	7	26	23	20	PDAM	Laundry dan Mandi	Ada	Tangki Septik	Selokan
12	Pak Sukisno	Kejawan Gebang 8 No.6	7	30	33	35	PDAM	Mencuci dan Mandi	Ada	Tangki Septik	Selokan
13	Bu Indah	Kejawan Gebang 8 No.9	6	21	22	19	PDAM	Mencuci dan Mandi	Ada	Tangki Septik	Selokan
14	Bu Sari	Kejawan Gebang 8 No.9 A	4	20	18	10	PDAM	Laundry, Mandi, Memasak	Ada	Tangki Septik	Selokan

## Lampiran 4. Contoh kuesioner

<p>Nama : Siti Rahmawati</p> <p>Alamat : Gang 8A, Kejawan Gebang</p> <p>Pertanyaan</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berapakah jumlah anggota keluarga yang berada dalam 1 rumah? 6 orang</li> <li>2. Untuk sumber air, berasal dari mana? PDAM</li> <li>3. Air digunakan untuk kegiatan apa saja? mandi, mencuci</li> <li>4. Apakah anda memiliki data rekening air 2 bulan terakhir (paling baru)?               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Nomor rekening air bersih:</li> <li>b. Nomor Pelanggan air bersih:</li> </ol> </li> <li>5. Apakah rumah anda memiliki tangki septik? 15 liter</li> <li>6. Bagaimana sistem pembuangan air limbah di rumah anda?</li> <li>7. Apakah anda bersedia bila akan dibangun Instalasi Pengolahan Air Limbah di Kejawan Gebang?</li> </ol>	<p>Nama : Ibu Lintang / Syanto</p> <p>Alamat : Gang X, nomor 7</p> <p>Pertanyaan</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berapakah jumlah anggota keluarga yang berada dalam 1 rumah? 6 orang</li> <li>2. Untuk sumber air, berasal dari mana? PDAM</li> <li>3. Air digunakan untuk kegiatan apa saja? mandi, mencuci</li> <li>4. Apakah anda memiliki data rekening air 2 bulan terakhir (paling baru)?               <ol style="list-style-type: none"> <li>c. Nomor rekening air bersih:</li> <li>d. Nomor Pelanggan air bersih: 2153167</li> </ol> </li> <li>5. Apakah rumah anda memiliki tangki septik? Langsung ke sungai</li> <li>6. Bagaimana sistem pembuangan air limbah di rumah anda? ke got</li> <li>7. Apakah anda bersedia bila akan dibangun Instalasi Pengolahan Air Limbah di Kejawan Gebang?</li> </ol>
<p>Nama : Bu Indah</p> <p>Alamat : Kejawan Gebang VII / No 9</p> <p>Pertanyaan</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berapakah jumlah anggota keluarga yang berada dalam 1 rumah? 5 orang</li> <li>2. Untuk sumber air, berasal dari mana? PDAM</li> <li>3. Air digunakan untuk kegiatan apa saja? mandi, mencuci</li> <li>4. Apakah anda memiliki data rekening air 2 bulan terakhir (paling baru)? Ke pemukiman / Pak RTW gang               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Nomor rekening air bersih: 11</li> <li>b. Nomor Pelanggan air bersih: jadi sudah 15 tahun</li> </ol> </li> <li>5. Apakah rumah anda memiliki tangki septik?</li> <li>6. Bagaimana sistem pembuangan air limbah di rumah anda? Got, Selekan</li> <li>7. Apakah anda bersedia bila akan dibangun Instalasi Pengolahan Air Limbah di Kejawan Gebang? Bersedia</li> </ol>	<p>Nama : Bu Sari</p> <p>Alamat : Kejawan Gebang VII / No 9</p> <p>Pertanyaan</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berapakah jumlah anggota keluarga yang berada dalam 1 rumah? 4 orang</li> <li>2. Untuk sumber air, berasal dari mana? PDAM</li> <li>3. Air digunakan untuk kegiatan apa saja? laundry, mandi, mencuci</li> <li>4. Apakah anda memiliki data rekening air 2 bulan terakhir (paling baru)? Rekening gang II               <ol style="list-style-type: none"> <li>c. Nomor rekening air bersih:</li> <li>d. Nomor Pelanggan air bersih:</li> </ol> </li> <li>5. Apakah rumah anda memiliki tangki septik? Ada</li> <li>6. Bagaimana sistem pembuangan air limbah di rumah anda? Langsung ke sungai / got</li> <li>7. Apakah anda bersedia bila akan dibangun Instalasi Pengolahan Air Limbah di Kejawan Gebang? Bersedia</li> </ol>

### Lampiran 5. Luas dan Posisi Area IPAL

Name	Shape Type	Number of Points	Area (Sq Meters)	Perimeter/Length (Meters)	Centroid/Mid-Point (Degrees)	Bounding Box Maximum (Degrees)	Bounding Box Minimum (Degrees)
Zona 1	Polygon	47	240	70.0	-07.2856463°, 112.8015846°	-07.2855590°, 112.8016752°	-07.2857276°, 112.8014953°
Name	Shape Type	Number of Points	Area (Sq Meters)	Perimeter/Length (Meters)	Centroid/Mid-Point (Degrees)	Bounding Box Maximum (Degrees)	Bounding Box Minimum (Degrees)
Zona 2	Polygon	110	314	70.0	-07.2869201°, 112.8000358°	-07.2868175°, 112.8001173°	-07.2870208°, 112.7999397°
Name	Shape Type	Number of Points	Area (Sq Meters)	Perimeter/Length (Meters)	Centroid/Mid-Point (Degrees)	Bounding Box Maximum (Degrees)	Bounding Box Minimum (Degrees)
Zona 3	Polygon	103	1,526	101.7	-07.2849136°, 112.8006768°	-07.2846592°, 112.8008805°	-07.2851801°, 112.8004525°

Sumber: Google Earth, 2016



TUGAS AKHIR - RE 141581

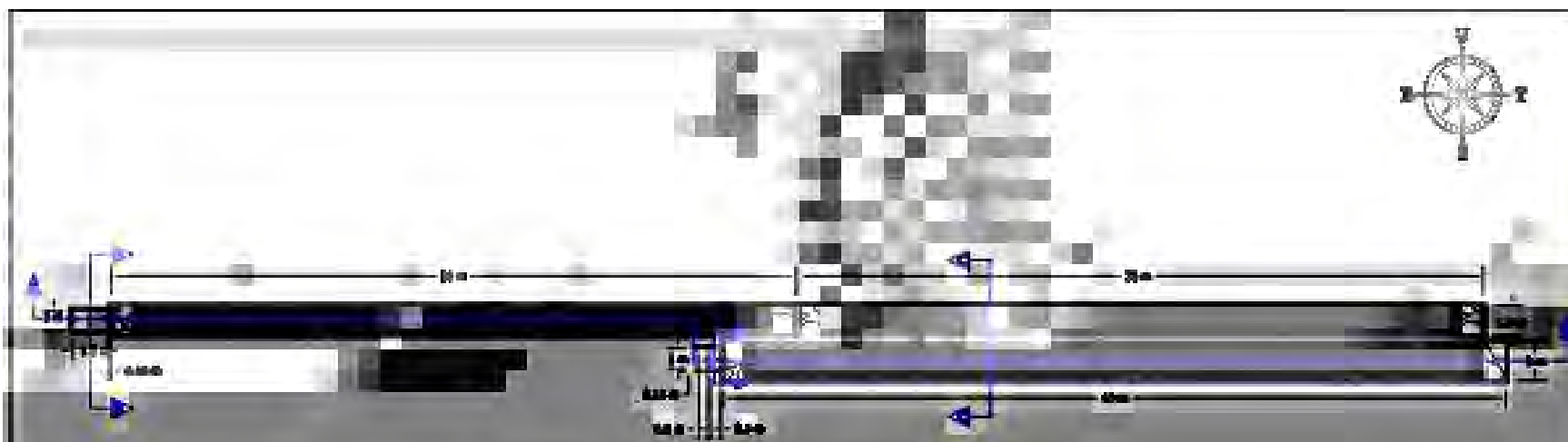
# ***HYBRID CONSTRUCTED WETLAND (HCW) SEBAGAI UPAYA PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK PADA PEMUKIMAN PADAT PENDUDUK DI DAERAH BANTARAN SUNGAI***

**(STUDI KASUS: KEJAWAN GEBANG KELURAHAN GEBANG PUTIH SURABAYA)**

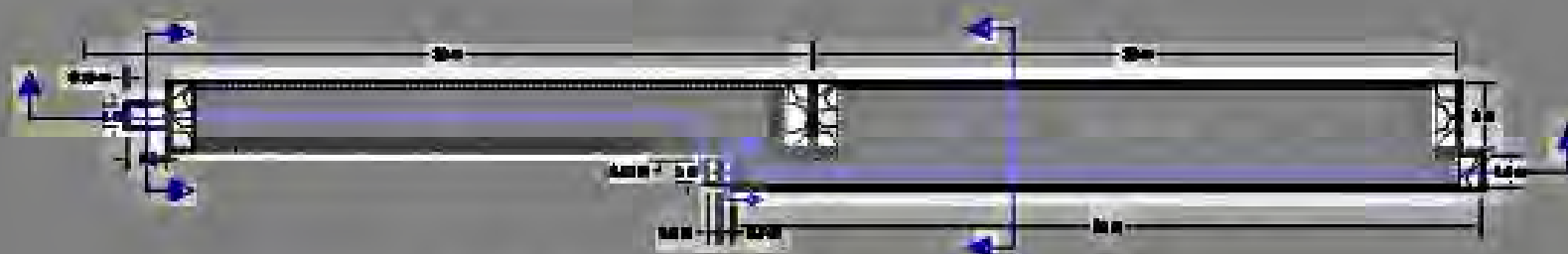
Arizky Rachmad Sudewo  
3312100041

Dosen Pembimbing:  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

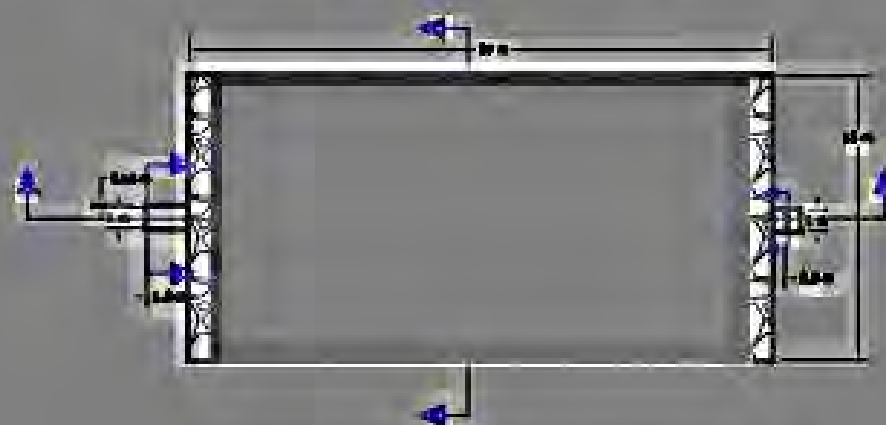
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



**Denah Hybrid Constructed Wetland Zone 1**



**Denah Hybrid Constructed Wetland Zone 2**



**Denah Hybrid Constructed Wetland Zone 3**



**YUSUF AIGER**  
Program Sarjana  
Jurusan Teknik Lingkungan  
ITS - ITS

**Nama Mahasiswa**

**Artzky Rachmad Sudewo**  
NRP.3312100041

**Judul Gambar**

**Denah Hybrid Constructed Wetland (HCW)**

**Legenda**

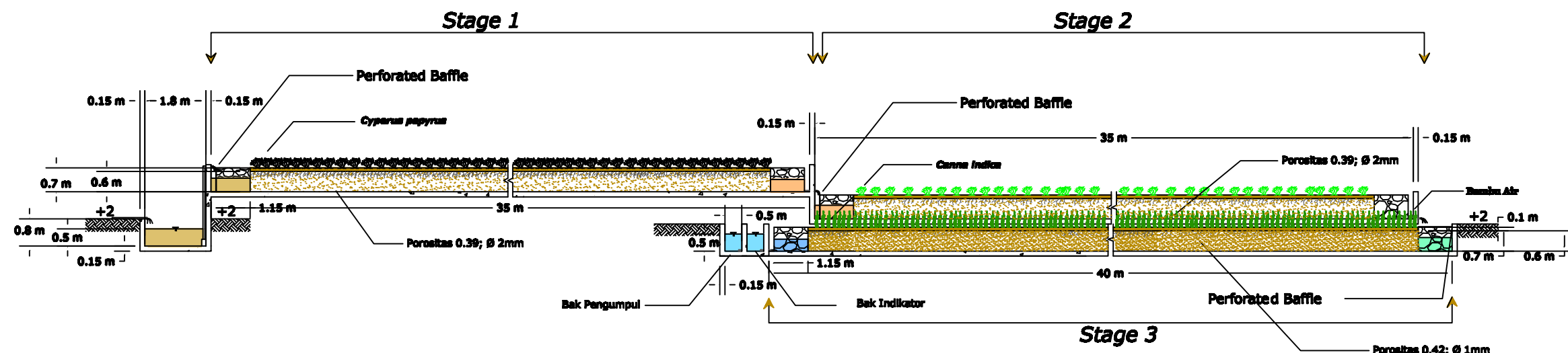
- Drain
- Pondasi
- Cypripedium
- Koro
- Bambu Air
- Gravel

**Desain Pembimbing**

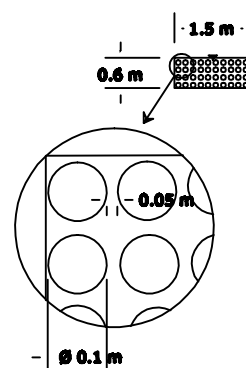
**Prof. Dr. Ir. Niele**  
**Kamuningroem, MSc**

**Skala**  
**1:200**

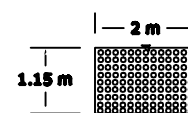
No. Gambar	Halaman
1	7



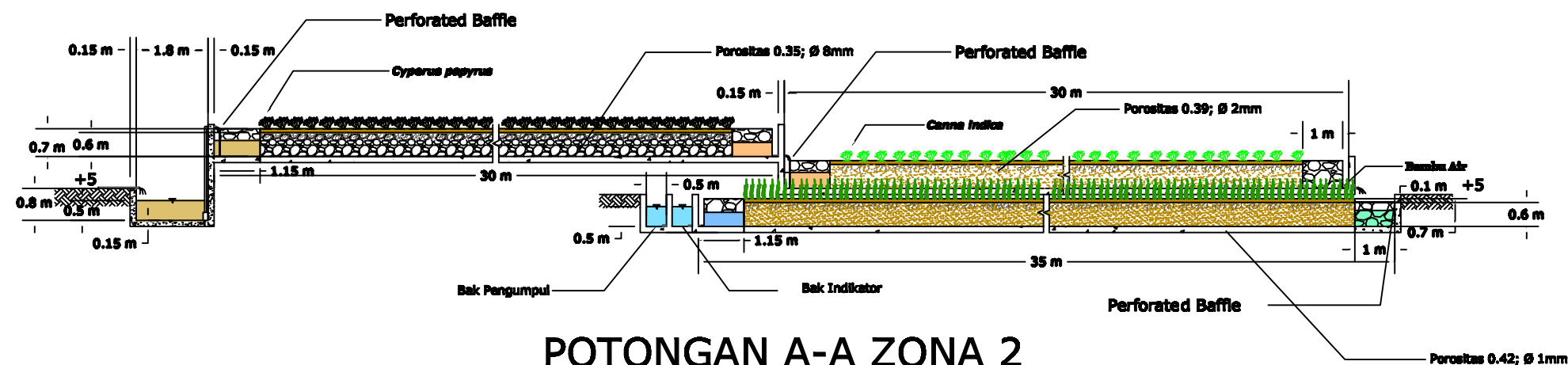
POTONGAN A-A ZONA 1



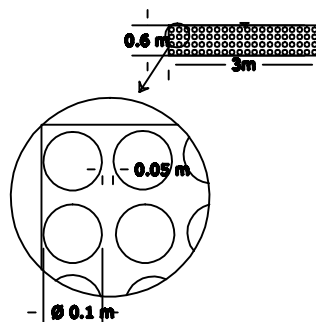
Detail Perforated Baffle Stage 1 dan 2 Zona 1



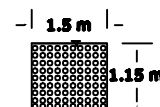
Detail Perforated Baffle Stage 3 Zona 1



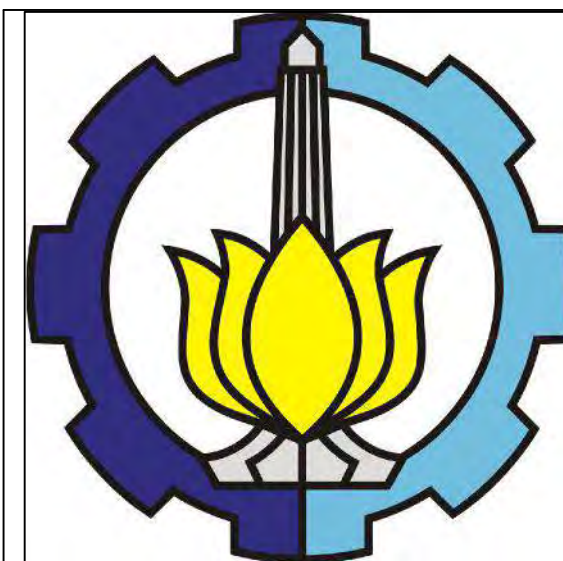
POTONGAN A-A ZONA 2



Detail Perforated Baffle Stage 1 dan 2 Zona 2



Detail Perforated Baffle Stage 3 Zona 2



**TUGAS AKHIR**  
Program Sarjana  
Jurusan Teknik Lingkungan  
FTSP - ITS

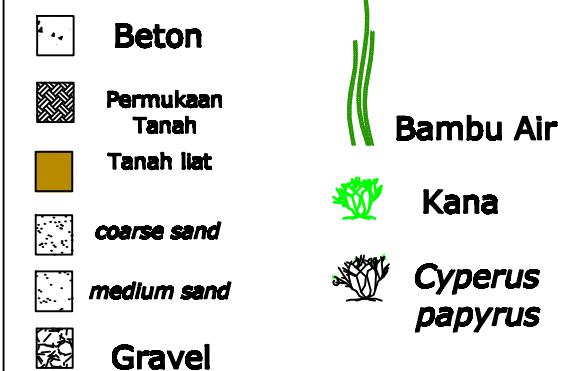
**Nama Mahasiswa**

Arizky Rachmad Sudewo  
NRP.3312100041

**Judul Gambar**

Potongan A-A HCW

**Legenda**



**Dosen Pembimbing**

Prof. Dr. Ir. Nieke  
Karnaningroem, MSc

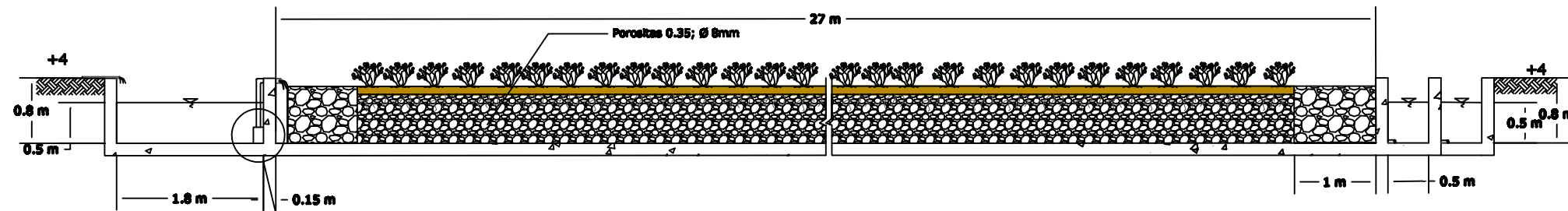
**Skala**  
**1:150**

No. Gambar

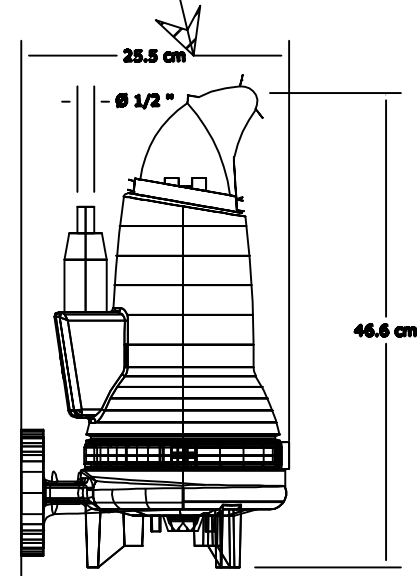
2

Halaman

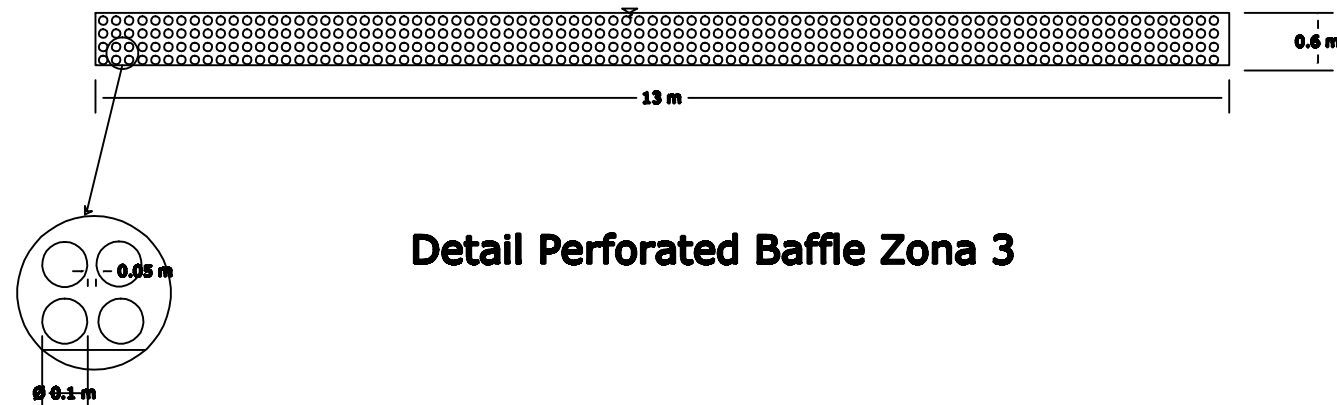
7



**POTONGAN A-A ZONA 3**



**Detail Pompa Submersible**



**Detail Perforated Baffle Zona 3**



**TUGAS AKHIR**  
**Program Sarjana**  
**Jurusan Teknik Lingkungan**  
**FTSP - ITS**

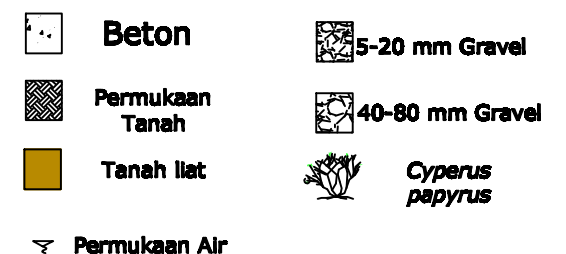
**Nama Mahasiswa**

**Arizky Rachmad Sudewo**  
**NRP.3312100041**

**Judul Gambar**

**Potongan A-A HCW**

**Legenda**



**Dosen Pembimbing**

**Prof. Dr. Ir. Nieke**  
**Karnaningroem, MSc**

**Skala**  
**1:80**

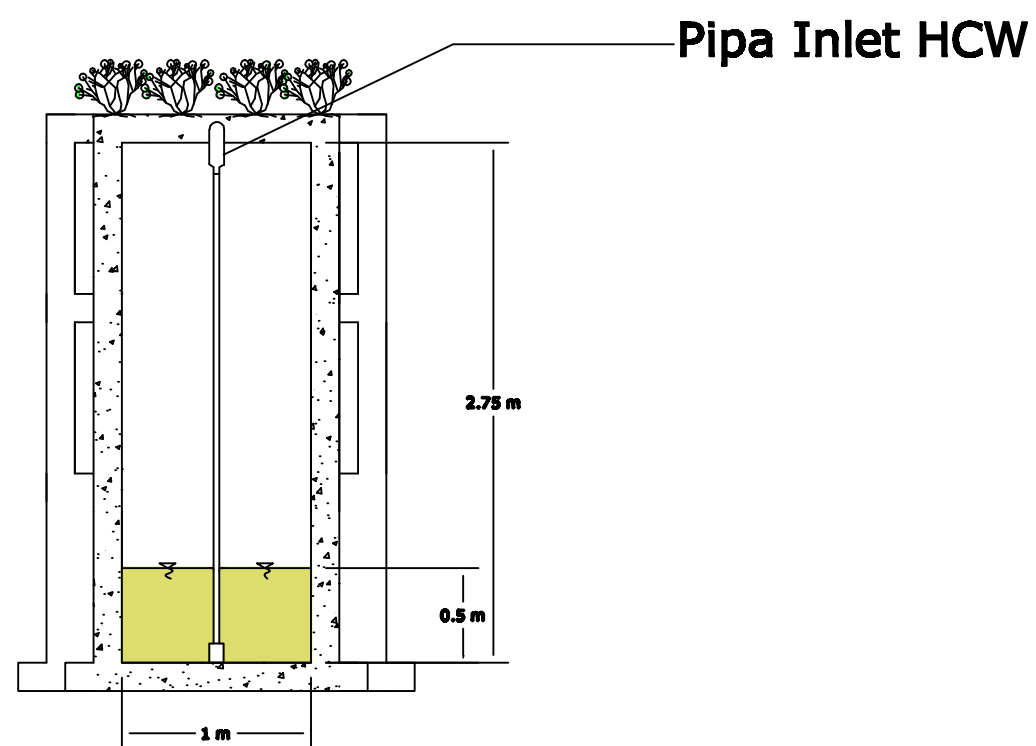
**No. Gambar**

**3**

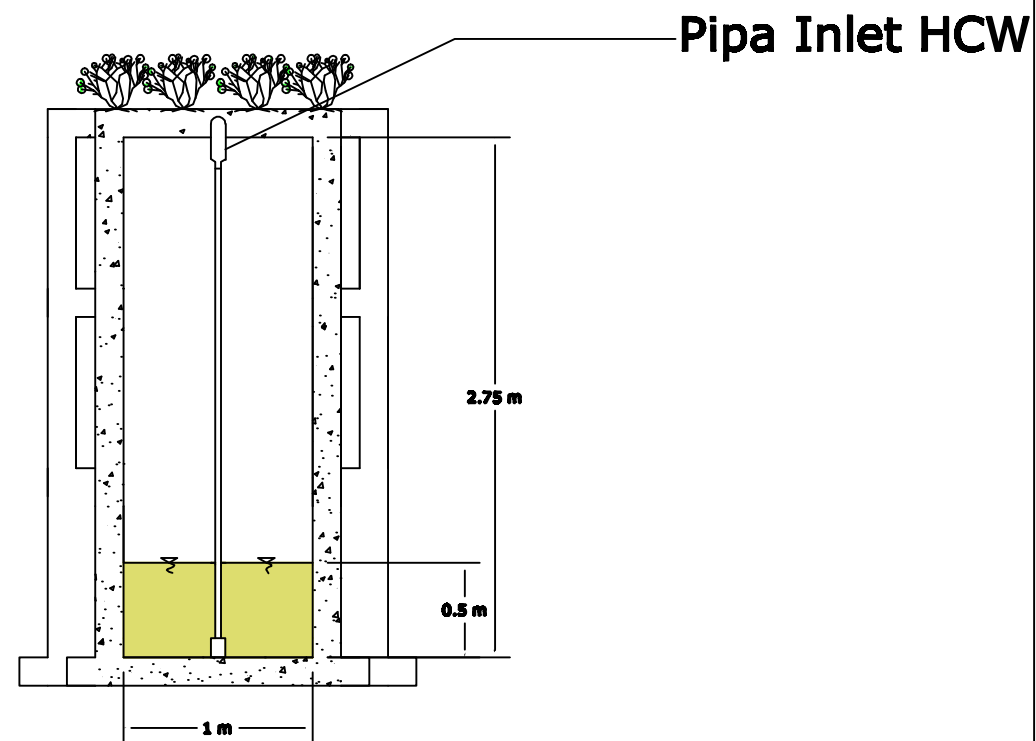
**Halaman**

**7**

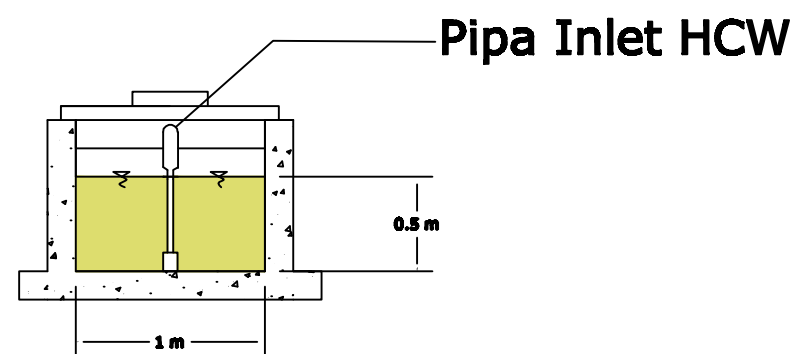




**POTONGAN B-B ZONA 1**



**POTONGAN B-B ZONA 2**



**POTONGAN B-B ZONA 3**



**TUGAS AKHIR**  
Program Sarjana  
Jurusan Teknik Lingkungan  
FTSP - ITS




**Nama Mahasiswa**

Arizky Rachmad Sudewo  
NRP.3312100041

**Judul Gambar**

Potongan B-B *Hybrid*  
*Constructed Wetland*

**Legenda**

-  Beton
-  Permukaan Air
-  Bambu Air

**Dosen Pembimbing**

Prof. Dr. Ir. Nieke  
Karnaningroem, MSc

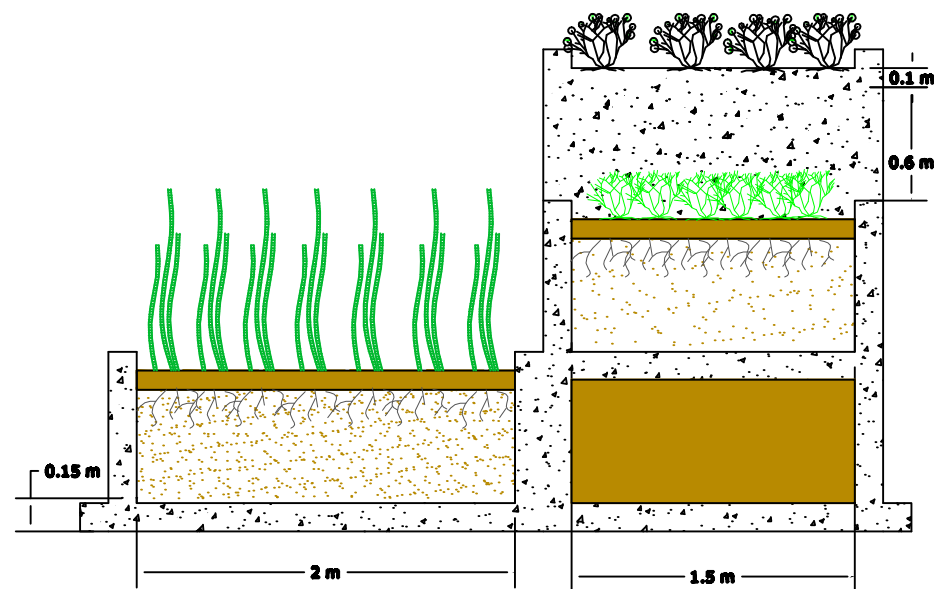
**Skala**  
**1:40**

No. Gambar

4

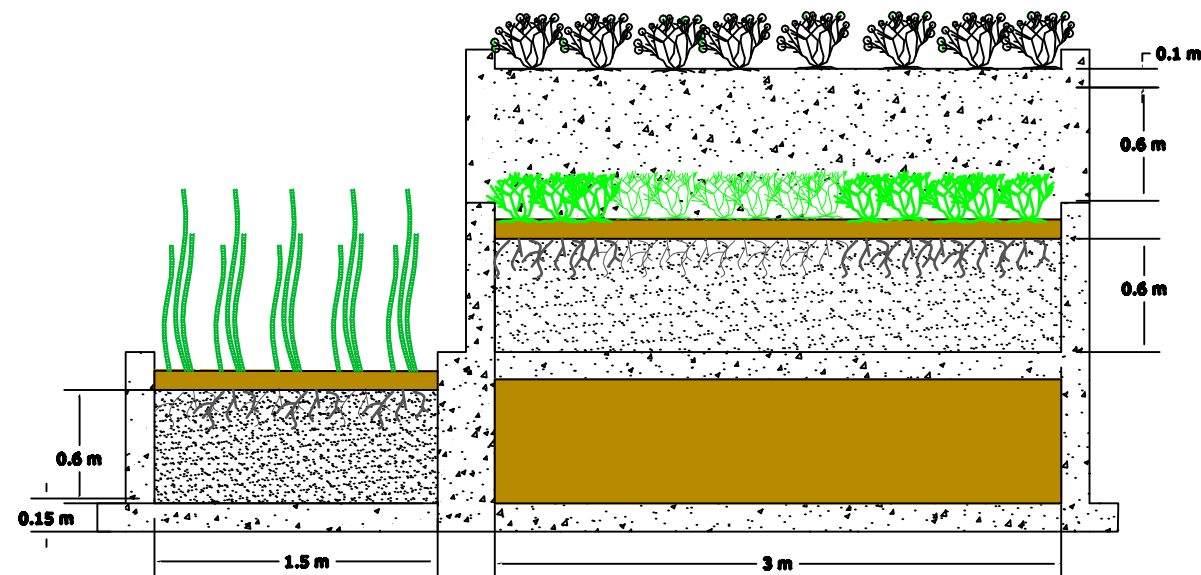
Halaman

7



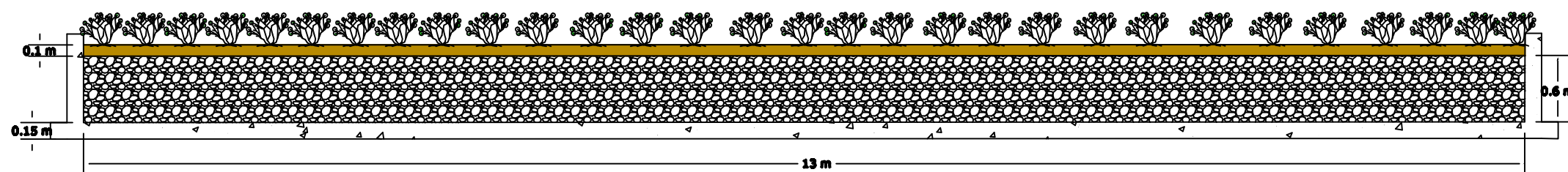
POTONGAN C-C ZONA 1

Skala 1:40



POTONGAN C-C ZONA 2

Skala 1:40



POTONGAN C-C ZONA 3

Skala 1:50



**TUGAS AKHIR**  
Program Sarjana  
Jurusan Teknik Lingkungan  
FTSP - ITS

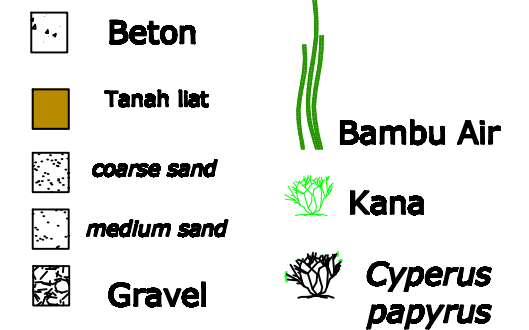
**Nama Mahasiswa**

Arizky Rachmad Sudewo  
NRP.3312100041

**Judul Gambar**

Potongan C-C *Hybrid*  
*Constructed Wetland*

**Legenda**



**Dosen Pembimbing**

Prof. Dr. Ir. Nieke  
Karnaningroem, MSc

**Skala 1:40**

**Skala 1:50**

No. Gambar

5

Halaman

7



**TUGAS AKHIR**  
**Program Sarjana**  
**Jurusan Teknik Lingkungan**  
**FTSP - ITS**

**Nama Mahasiswa**

Arizky Rachmad Sudewo  
 NRP.3312100041

**Judul Gambar**

*Potongan D-D Hybrid  
 Constructed Wetland*

**Legenda**

 **Beton**  
 **Permukaan Air**

**Dosen Pembimbing**

Prof. Dr. Ir. Nieke  
 Karnaningroem, MSc

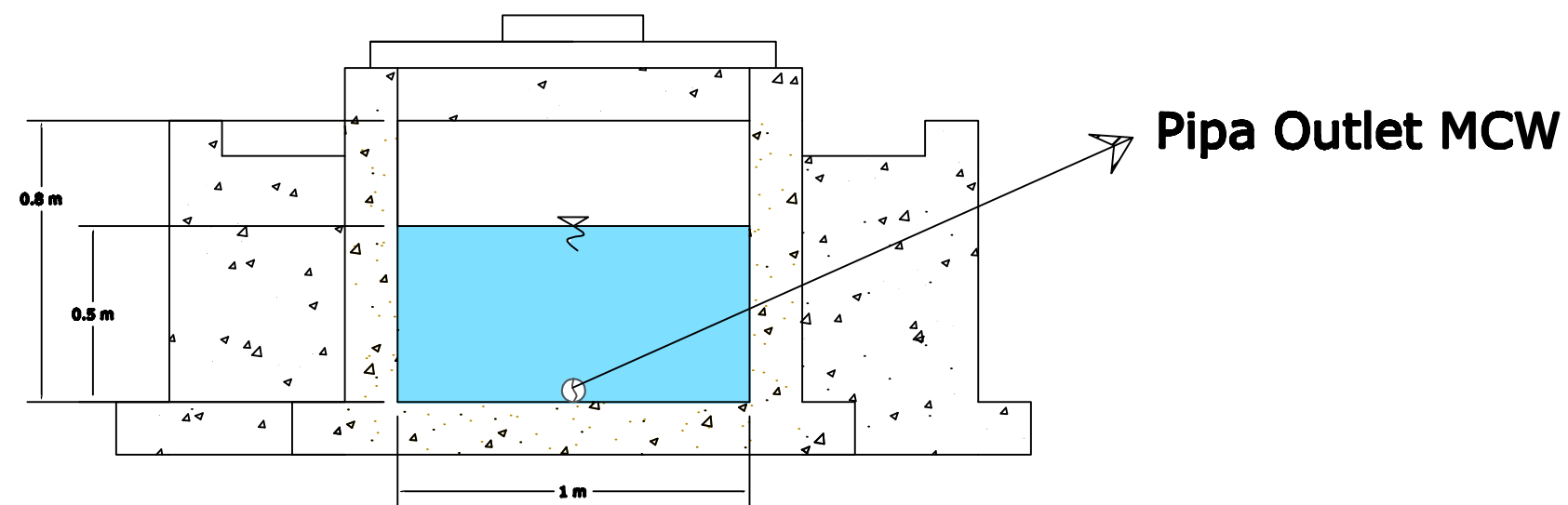
**Skala**  
**1:20**

**No. Gambar**

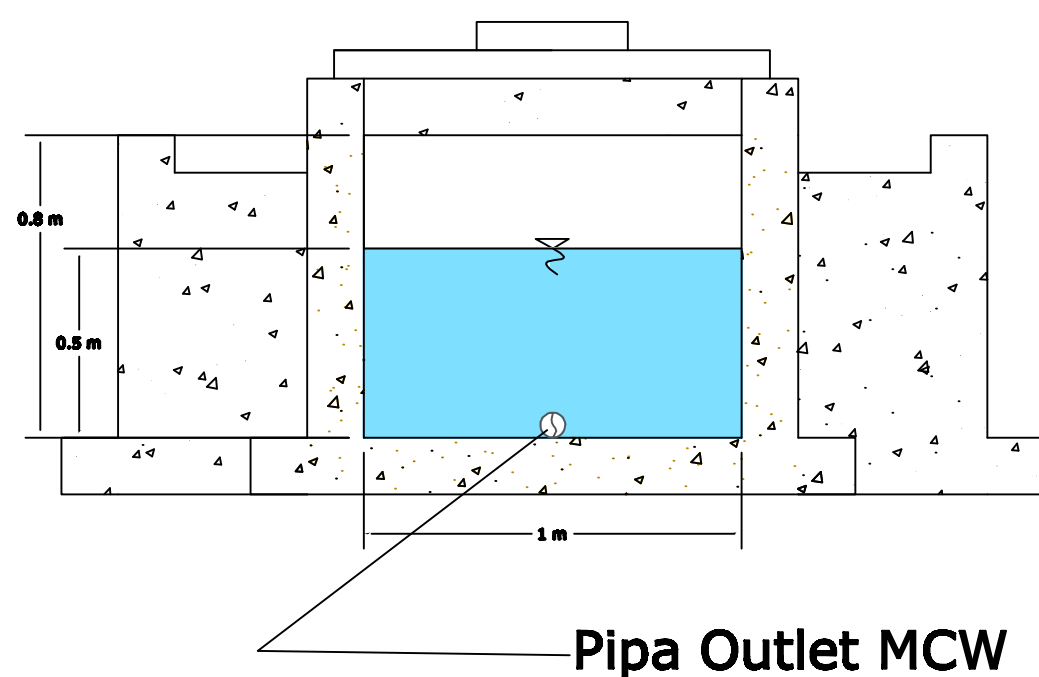
6

**Halaman**

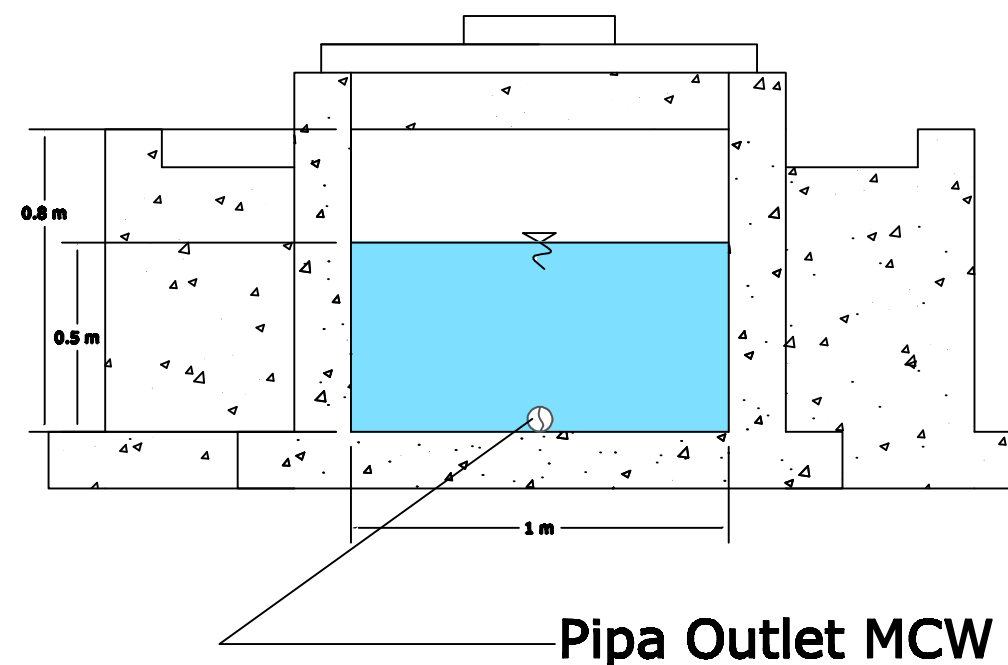
7



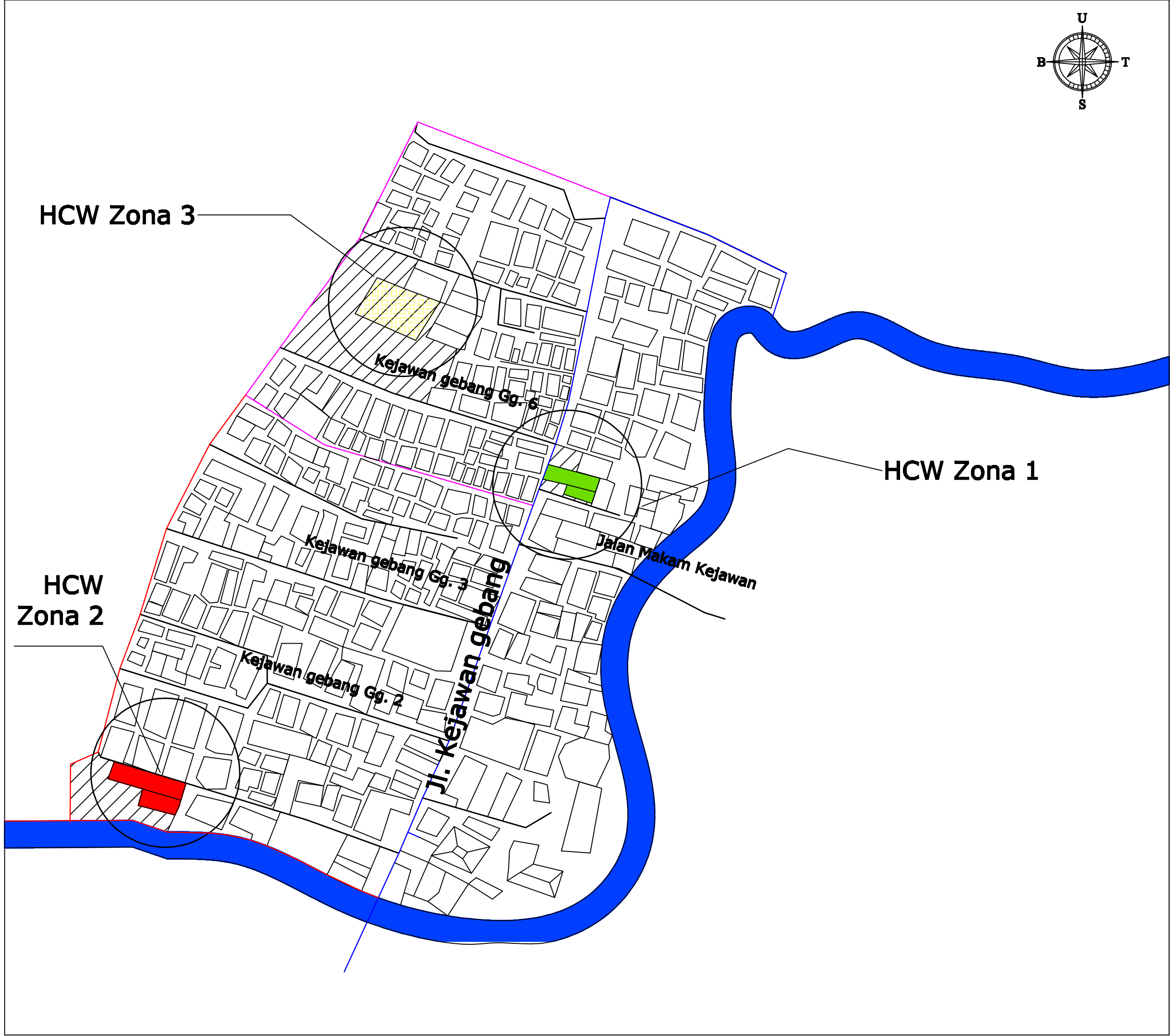
**POTONGAN D-D ZONA 1**



**POTONGAN D-D ZONA 1**



**POTONGAN D-D ZONA 1**



**TUGAS AKHIR**  
**Program Sarjana**  
**Jurusan Teknik Lingkungan**  
**FTSP - ITS**

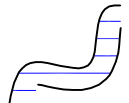
**Nama Mahasiswa**

**Arizky Rachmad Sudewo**  
**NRP.3312100041**

**Judul Gambar**

**Layout HCW di Kawasan**  
**Kejawan Gebang**

**Legenda**

- Batas Zona 1
- Batas Zona 2
- Batas Zona 3
-  Kali Bokor

**Dosen Pembimbing**

**Prof. Dr. Ir. Nieke**  
**Karnaningroem, MSc**

**Tanpa Skala**

**No. Gambar**

**7**

**Halaman**

**7**

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan didapatkan dimensi dari unit bak pengumpul tipikal untuk semua zona adalah 1,8 m x 1 m. Untuk HCW Zona 1 adalah sebagai berikut; Stage 1: 35 m x 1,5 m, Stage 2: 35 m x 1,5 m, Stage 3: 40 m x 2 m, sehingga total luas lahan yang dibutuhkan sebesar 185 m<sup>2</sup>. Untuk HCW Zona 2 adalah sebagai berikut; Stage 1: 30 m x 3 m, Stage 2: 30 m x 3 m, Stage 3: 35 m x 1,5 m, sehingga total luas lahan yang dibutuhkan sebesar 232,5 m<sup>2</sup>. Untuk SSFCW Zona 3 adalah: 27 m x 13 m. Sementara untuk dimensi bak indikator dan bak penampung tipikal semua zona adalah 1 m x 0,5 m.
2. Biaya yang dibutuhkan untuk membangun HCW Zona 1 adalah Rp201.850.807,- HCW Zona 2 adalah Rp220.830.131,- SSFCW Zona 3 adalah Rp251.149.742,-

#### **6.2 Saran:**

Saran untuk tugas akhir perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian pengolahan air limbah domestik dengan menggunakan sistem *Hybrid Constructed wetland* (HCW) lebih lanjut untuk mengetahui kinerja HCW, termasuk di dalamnya evapotranspirasi tanaman dan persen removal tiap parameter yang sesuai dengan kondisi lapangan.
2. Perlu direncanakan *prototype* HCW untuk mengetahui efisiensi aktual HCW dengan variasi tanaman yang telah direncanakan, agar desain lebih akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## DAFTAR PUSTAKA

- Bagwell, C.E. dan Lovell, C.R. 2000a. *Microdiversity of culturable diazotrophs from the rhizoplanes of the salt marsh grasses Spartina alterniflora and Juncus roemerianus*. Microb. Ecol. 39: 128–136.
- Dallas, S. 2006. *Constructed Wetland for Waste Water Treatment. Presentasi Sustainable Sanitation and Wetland Technology (Workshop, 2006)*: ITC Murdoch University; IEMT Universitas Merdeka Malang.
- Dallas, S., B.Scheffe dan G.Ho. 2005. *Reedbeds for greywater treatment—case study in Santa Elena— Monteverde, Costa Rica, Central America*. Ecol. Eng. 23: 55-61.
- Dalimartha. 2003. *Uraian Bunga Kana Merah*. Universitas Sumatera Utara.
- Dewiandratika, M. 2002. *Sistem Penyaluran Air Limbah*. Universitas Sumatera Utara.
- Dhokikah, Y. 2006. *Pengolahan Air Bekas Domestik Dengan Sistem Constructed Wetland Aliran Subsurface Untuk Menurunkan COD, TS dan Deterjen*. Tesis Program Pasca Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Dinas PU DKI dan Tim JICA. 2010. *Pengolahan Air Limbah Domestik*. Jakarta
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta: Kanisius.
- Grieve, C.M., Poss, J.A., 2000. *Wheat response to interactive effects of boron and salinity*. J. Plant Nutr. 23, 1217–1226.
- Hammer, D. E. 1986. *A Model for Wetland Surface Water Dynamics*. Volume 22, Issue 13, pages 1951–1958. Washington DC.
- Khiatuddin, M. 2003. *Melestarikan Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa Buatan*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Konnerup, D; Brix, Hans; Koottatep, T. 2009. *Treatment of Domestic Wastewater in Tropical, Subsurface Flow Constructed Wetlands Palnted with Canna and Heliconia*. Elsevier. UK.
- Kurniadie, D. 2011. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Secara Biologis*. Widya Padjajaran. Banudng

- Leady. 1997. *Subsurface Constructed Wetlands*. Applied and Environmental Microbiology Journal Vol 23 pages 11-25.
- Lienard, A., Boutin, C. and esser, D. 1990. *Domestic Wastewater Treatment with Emergent Hydrophite Beds in France*. In: Constructed Wetlands in Water Pollution Control, P.F. cooper and B.C Findlater (eds.), Pergamon Press. P. 183-192.
- Loffler, H. and Pietsch, W. 1991. *Phytofilt-vorstellung einer Leistungsfahigen*. Pflanzenkllaranlage fur kleine Gemeinden. Korresponden Abwasser, 38 (3), p. 376-383.
- Lucy, M.C., Richard, I.D. and Leonard, W.L. 1991. *An Assessment of Root Zone Method of Wastewater Treatment*. Research Journal WPCF, Vol. 63 (3), p. 239-247.
- Metcalf dan Eddy. 1981. *Wastewater Engineering, Collection and Pumping of Waste Water*. Mc Graw Hill Book Company. New York.
- Metcalf dan Eddy. 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. Mc Graw Hill Book Company. New York.
- Nayono E. 2008. *Metode Pengolahan Air Limbah Alternatif Untuk Negara Berkembang*. UNY : Yogyakarta.
- Ningrum, A.V. 2008. *Perencanaan Subsurface Flow Constructed Wetland dalam Pengolahan Grey Water Skala Rumah Tangga Secara Individu di perkotaan (Studi Kasus: Perumahan Puri Mas Surabaya)*. Tugas Akhir. Surabaya. Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Opio, Alfonse., Jones, B., Mike, Kansiiime., Frank, Otiti, T. 2014. *Growth and Development of Cyperus papyrus in a Tropical Wetland*. *Journal of Ecology*. Scientific Research Publishing Inc. USA.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 Tahun 2013.
- Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup, 2003. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*. Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- PerMen PU No.5/PRT/M/2008. *Ruang Terbuka Hijau (RTH)*



- Polprasert dan Rajput. 1987. *Organic Waste Recycling*. John Wiley & Son, Chichester, Inggris.
- Qasim, S.R. 1985. *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design and Operation, Second Edition*. CRC Press, New York.
- Raude, J.B., M.Mutua., L.Chemelil., K.Kraft dan Sleytr. 2009. *Household greywater treatment for peri-urban areas of Nakuru Municipality, Kenya*. Journal of Sustainable Sanitation Practice , 2009,1, 10-15. EcoSan Club, Austria
- Rukmana, R. 1997. *Bunga Kana*. Yogyakarta: Kanisius.
- Rumah Rakyat. 2012. *Berkembangnya Kawasan Kumuh di Bantaran Sungai*.
- Sasse, L. 1998. *DEWATS; Decentralized Wastewater Treatment In Developing Countries*. Bremen: BORDA.
- Santoso, A. 2014. *Perencanaan Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Alternatif Media Biofilter*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Seidel, K and Happel, H. 1981. *Sewage Treatment using Plants According to the Krefeld Systems*. Sicherheit in Chemie und Umwelt I:127-129.
- Schiegel, 1994. *General Microbiology 2<sup>nd</sup> Ed*. Cambridge University Press. New York.
- Stell, D.W. 1979. *Water Supply And Sewerage*. McGraw Hill Book Company. New York.
- Suriawiria. 1993. *Mikrobiologi Air dan Dasar-dasar Pengolahan Buangan Air Limbah*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Tahara, Haruo. 2000. *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Tangahu, B.V. dan Warmadewanthi, I.D.A.A. 2001. *Pengolahan limbah rumah tangga dengan memanfaatkan tanaman cattail (Typha angustifolia) dalam sistem constructed wetland*. Jurnal Purifikasi. 2 (3) pp.127-132.
- Tuttolomondo, T., Licata, M., Leto, C., Leone, R., Bella, Salvatore La. 2014. *Effect of Plant Species on Water Balance in a Pilot-Scale Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland Planted With Arundo donax L. And Cyperus*

- alternifolius L.-Two-year Tests in a Mediterranean Environment in the West of Sicily (Italy)*. Elsevier. UK.
- UN-Habitat. 2008. *Constructed Wetlands manual*. United Nations Human Settlements Programme. Nepal
- U.S Environmental Protection Agency. 1993. *Subsurface Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, Washington. D.C
- Vymazal, J. 1998. *Removal of BOD5 in Constructed wetland with horizontal subsurface flow: Czech experience*. Water Science Technology, Volume 40, No.3. 133-138. IWA Publishing. New York
- Vymazal, J. 2002. *The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience*. Ecological Engineering. 18 pp.633- 646.
- Wayan, N. 2005. *Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Pemanfaatan Tanaman Cyperus papyrus pada Sistem Subsurface Constructed Wetland*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Weed Management Guide. 2003. *Horsetails-Equisetum species*. Natural Heritage Trust. Australia.
- Weissenbacher, N. dan E.Müllegger. 2009. *Combined Greywater Reuse and Rainwater Harvesting in an Office Building in Austria: Analyses of Practical Operation*. Journal Ecological Sanitation Practice issue 1.10/2009, 4-9.
- Wood, A. (1990). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment Engineering and Design Consideration, Proceeding of The International Conferencion The Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. Pergamon Press. London.

## Lampiran 6

### BIODATA PENULIS



Penulis merupakan putra Singosari, Kabupaten Malang yang lahir pada tanggal 2 Mei 1994. Penulis mengenyam pendidikan formal di SDN Ardimulyo 2 Singosari. Selanjutnya, menempuh pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Singosari serta lulus pada periode 2009-2010. Pada tahun yang sama, penulis diterima menjadi salah satu *scholar* Putera Sampoerna Foundation dan berhak melanjutkan pendidikan di SMAN 10 Malang (Sampoerna Academy). Penulis selanjutnya, menempuh pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya, terdaftar dengan NRP 3312100041.

Selama perkuliahan beberapa prestasi kepenulisan yang pernah diraih oleh penulis adalah Juara 1 LKTI "Innovation Engineering for Society" tahun 2015 dengan perencanaan desain *wetland* "*Modular Bio filtration Ditch*" dan Juara 1 LKTI ISWC "*Sciences for Better Future*" tahun 2012. Selain itu, penulis juga mendapatkan beberapa pendanaan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dalam bidang penelitian tahun 2012, gagasan tertulis tahun 2014, serta menjadi delegasi PIMNAS 27 tahun 2014 di Semarang kategori bidang pengabdian masyarakat. Dalam bidang seni, penulis juga pernah memperoleh Juara 1 Lomba *Jingle Dare Competition* "Interval ITS" tahun 2012.

Tidak hanya itu, penulis juga aktif berorganisasi dengan menjadi Kepala Departemen Riset dan Teknologi (RISTEK) Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) 2014-2015. Beberapa pengalaman di lapangan yang dimiliki penulis antara lain pernah menjadi asisten ahli perencanaan SPAM 100% Maluku Utara tahun 2015, Kerja Praktik di Satker PKPAM Kementerian PU PR Maluku Utara, dan menjadi Tim Penilai Proper KLH tahun 2016. Penulis dapat dihubungi via email [arizky.sudewo@gmail.com](mailto:arizky.sudewo@gmail.com).